



Qu'est-ce qu'un manuel numérique de SVT ?

Présenter, organiser les connaissances indispensables pour préparer, soutenir et prolonger le travail de votre professeur.

Vous trouverez essentiellement dans ce manuel des connaissances, des prolongements de cours et de nombreux exercices corrigés.

Le but de ce manuel est de vous aider à progresser, à aller plus loin.

Il s'adresse à tous les élèves désireux d'avoir un support bien organisé, clair et précis pour travailler.

La plupart des manuels vous proposent de jolies photos et évitent d'exposer clairement ce que vous devez savoir. Ce n'est pas le cas de celui-ci. J'ai essayé de le rendre agréable par l'injection d'une bonne dose d'humour, car il n'est pas de sciences sans joie.

Dans ce manuel:

- le cours présente ce qu'il faut savoir et détaille les raisonnements
- les résumés exposent les notions qu'il faut, comment dire... retenir ?
- les annexes (encadrés) permettent d'approfondir un sujet
- les exercices présentent de quoi vérifier puis appliquer ses connaissances (car la science est aussi l'application de connaissances à des problèmes nouveaux pour générer des connaissances nouvelles, etc.)
- l'évaluation vous présente un exemple de devoir et sa correction (évitez de tricher!). Les tests sont des évaluations rapides.
- Ce manuel fait appel à l'histoire des sciences, donc vous en profiterez pour réviser aussi votre histoire et même, chemin faisant, pour apprendre quelques définitions, citations et astuces qui vous permettront de mieux maîtriser votre expression écrite et, pourquoi pas, orale (les pages de vocabulaire à maîtriser vous y aideront).
- La forme électronique de ce manuel, ainsi que son site d'accompagnement, vous permet de l'avoir toujours avec vous, dans vos téléphones, vos iPod, ipad, ordis, vos XO... Elle vous donne aussi accès à des vidéos ou des sites qui illustrent de nombreux phénomènes.

Et maintenant, au boulot!

Pr. R .Raynal
Dr de l'Université de Toulouse
Octobre 2009

Table des matières

Programme 2010-2011
B.O. spécial n°4 du 29 avril 2010



2010

Compte à rebours...

3

Dans ce manuel, vous trouverez de nombreux documents, généralement sous forme d'encadrés, mais aussi d'exercices, qui ont pour but de vous faire réfléchir et de vous informer sur la pratique réelle de l'activité scientifique. Ces différents éléments sont identifiables grâce au symbole suivant :



2

Ce manuel étant libre, vous pouvez tout à fait légalement utiliser ses documents, ses schémas, ses textes pour compléter un de vos exposés ou dans le cadre d'un travail à faire hors classe. Toutefois, vos professeurs (malgré les apparences, parfois) ne sont pas (tous...) des imbéciles: il n'y a que peu de chances qu'ils ne découvrent pas que vous n'êtes pas personnellement à l'origine des schémas et autres documents que vous aurez utilisé: agissez en scientifiques, citez vos références! (pour ce manuel : Manuel SVT seconde libre & gratuit - R. Raynal - 2010 - www.exobiologie.info).

Licence:

1





Au sein des ténèbres de l'espace
notre Terre flotte, petite île
dans le grand archipel des mondes.

C. Flammarion, la pluralité des mondes habités, 1877

Le sommeil de la raison engendre des monstres.

Francisco de Goya Y Lucientes - légende d'une gravure

Photo: La Terre et la Lune vue par la sonde Galileo, en route vers Jupiter, le 16 décembre 1996 - NASA

LA TERRE, UNE PLANÈTE DU SYSTÈME SOLAIRE



Le 15 septembre 2006, la sonde spatiale Cassini a pris en passant derrière Saturne 165 vues qui ont été assemblées pour donner cette image de la planète et de ses anneaux en contre-jour. Sur l'agrandissement à gauche apparaît un petit point bleu pâle, à 1,3 milliard de km: ce point, c'est l'ensemble de tous les humains, de leurs réalisations, de toute leur histoire. A l'exception de quelques sondes spatiales, tout ce que les hommes ont créé et bâti se trouve sur ce minuscule point bleu. Le berceau de l'humanité, la Terre. Photo NASA.

1 - La planète Terre appartient au système solaire

11 - La Terre, une planète comme les autres

Imaginez. Vous regardez le ciel nocturne, qu'y voyez-vous ? De nos jours, des millions d'étoiles, soleils lointains accompagnés de planètes, et, parfois, comme de brillantes étoiles, vous pouvez voir au-dessus de l'horizon sud (1), comme de brillantes étoiles, certaines planètes de notre système solaire.

Imaginez. Nous sommes en 1543. Vous regardez le ciel. Qu'y voyez-vous ? Le même ordre immuable fixé par l'astronome Grec Ptolémée depuis quatorze siècles, vous voyez les étoiles et les planètes tourner autour de la Terre, immobile au centre de l'univers. Vous savez, bien entendu, que les planètes et le soleil sont des luminaires placés sur des sphères en cristal, et que la dernière sphère contient toutes les étoiles. Vous êtes persuadés que le ciel est le royaume de la perfection, et qu'il en sera toujours ainsi.

Pourtant, en moins d'un siècle, toutes vos certitudes millénaires vont voler en éclat. Une révolution scientifique majeure va se dérouler, qui débute justement en



1543. Cette année-là (2) parait un livre rédigé par un moine polonais, Copernic. Celui-ci sait que les idées qu'il défend sont susceptibles de le faire finir rôti sur un bûcher (3), aussi il prend la «précaution» de faire publier son livre par un de ses élèves (4), à l'étranger, et à la fin de sa vie. Son éditeur, craintif, mentionne au début de l'ouvrage «*Il n'est pas nécessaire que ces hypothèses soient vraies, ou mêmes vraisemblables*». En effet, l'idée que la Terre tourne autour du soleil s'oppose au dogme de l'Église catholique, et est difficilement acceptable par les scientifiques de l'époque à cause de leurs idées sur la physique du mouvement (5). Les idées de Copernic sont donc difficilement acceptées, et, afin de savoir qui de Copernic ou Ptolémée a raison, un astronome danois, Tycho Brahé, mène vers 1590 un programme d'observation très précis des positions des étoiles et planètes afin de comparer les prévisions des deux astronomes. Tycho a de bonnes raisons de douter des idées anciennes: en 1572, il a

1 - Ou Nord pour mes lecteurs et lectrices de l'hémisphère sud....

2 - François 1 règne en France, le navigateur Portugais Diego Suarez découvre une baie magnifique à Madagascar (Antsiranana), Charles Quint et Henri 8 règnent.

3 - Comme le sera Giordano Bruno, défenseur des idées de Copernic, brûlé vif le 17 février 1600 pour ses idées philosophiques et scientifiques dont, entre autres, celles d'une terre, simple planète tournant autour du soleil.

4 - Cette attitude discutable consistant à faire prendre tous les risques par un étudiant tout en conservant tous les bénéfices éventuels n'a pas disparu, comme c'est bizarre, à notre époque...

5 - Suivant les idées d'Aristote, ils pensaient que si la Terre était en mouvement, les corps moins massifs qu'elle se déplaceraient moins vite, et resteraient donc «en arrière», perdus dans l'espace...

Observer le ciel et prévoir les phénomènes, une question de vie ou de mort.

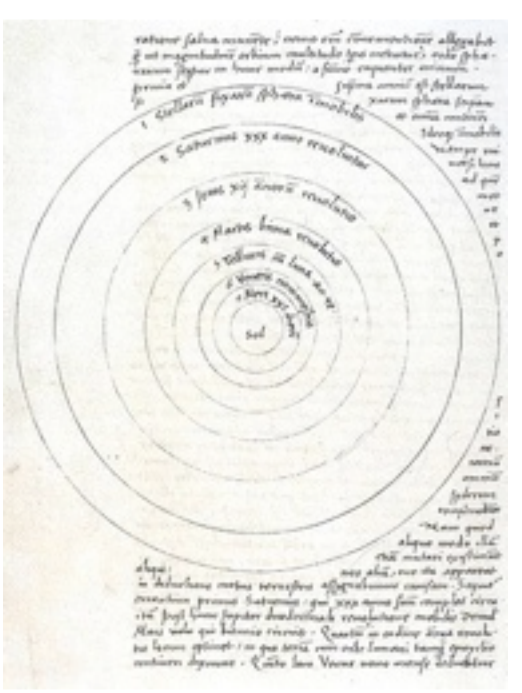
Les débuts de l'astronomie sont liés à l'agriculture: l'observation du ciel s'est d'abord développée dans le but de fabriquer un calendrier. Cela peut vous paraître secondaire, mais c'est vital: si vous semez trop tard, vos plantes risquent d'être détruites par le froid; trop tôt, et elles peuvent geler en germant, se retrouver inondées ou desséchées... C'est la vie de tous qui dépend alors du bon «timing» des semailles et des récoltes.

Pour établir un calendrier, il faut savoir comment se repérer dans les saisons, et pour cela, le plus simple est d'utiliser les étoiles: savoir, par exemple, que lorsque la plus brillante devient visible le matin, le fleuve ne va pas tarder à déborder (c'était le cas du Nil).

Un autre aspect important est lié au pouvoir donné par la capacité de prévoir des phénomènes marquants, comme la lune devenant rouge (lors d'une éclipse de lune) où, plus spectaculaire, d'annoncer à l'avance que le soleil va disparaître (en oubliant de dire qu'il va réapparaître peu après, vous pouvez exiger à peu près n'importe quoi pour le «forcer» à revenir au bout de quelques minutes ...).

Ce n'est qu'à l'époque de l'antiquité grecque que l'astronomie s'est dégagée des nécessités du calendrier et des prédictions mystiques pour devenir un domaine d'étude des objets célestes en tant que tels.

découvert une nouvelle étoile apparue brusquement, et en 1577 une grande comète est visible dans le ciel. Tycho démontre que, contrairement à ce qui était enseigné depuis plus de 1000 ans, ces phénomènes ne se sont pas produits dans l'atmosphère, mais sont situés plus loin que la Lune (1). C'est fin de l'idée des sphères de cristal portant les planètes ainsi que de la conception d'un ciel inaltérable. Tycho relève précisément la position des étoiles ainsi que des planètes (2), et il fonde une école d'astronomie. Il demande à un de ses élèves, J. Kepler, favorable à Copernic, d'utiliser ses observations pour calculer précisément l'orbite de la planète Mars. Après la mort de Tycho, Kepler va découvrir, en 1609, que la seule façon d'expliquer correctement le mouvement de Mars dans le ciel est de renoncer à l'idée que cette planète tourne autour du Soleil selon un cercle parfait: la planète décrit autour du soleil une ellipse.



Le système de Copernic dans son livre original de 1543 : Autour du Soleil, central, tournent les planètes Mercure, Vénus, la Terre, Mars, Jupiter puis Saturne. Le dernier cercle indique la position de toutes les étoiles que Copernic pensait être situées sur une sphère de cristal, à une même distance de la Terre (3)



Extrait de cosmic story - sciences sans frontières- (J.P. Petit)

Les trois lois de Kepler (simplifiées *)

1 - Les planètes tournent autour du soleil en suivant des ellipses. Le soleil se trouve à l'un des foyers de ces ellipses

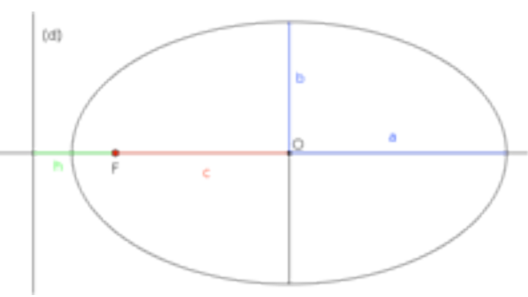
2 - Les planètes ne se déplacent pas à vitesse fixe: elles accélèrent en se rapprochant du soleil et ralentissent en s'en éloignant

3 - Il existe un rapport fixe entre la taille de l'orbite et le temps mis par la planète à la parcourir.

* Les «versions originales» sont commentées sur le site d'accompagnement du manuel, et dans l' exercice n

Kepler va ainsi découvrir trois lois (qui portent son nom) qui décrivent le mouvement des planètes autour du soleil.

À la même époque, en Italie, un des plus grands physiciens de l'Histoire, Galilée, réalise une série de découvertes qui confirment indubitablement (3) le système de Copernic. En tant que Physicien, Galilée réalise de nombreuses expériences sur le mouvement, et il démontre que la mobilité de la Terre est parfaitement possible. De plus, Galilée utilise un instrument nouvellement inventé, la lunette, pour observer le ciel.



Une ellipse. Elle comprend un grand axe, un petit axe et deux foyers, dont l'un est ici signalé par le point F. Les orbites parcourues par les planètes sont très peu elliptiques, ressemblant à des cercles très peu «écrasés»... *Schéma HB, wikimedia.*

1 - Si l'étoile ou la comète étaient dans l'atmosphère, alors leur position aurait dû changer, par rapport aux étoiles, selon le lieu où on les observait sur Terre (le même effet se produit lorsque vous tendez le bras et observez un de vos doigts en fermant un oeil, puis l'autre: votre doigt semble bouger un peu par rapport à l'arrière-plan).

2 - Tycho Brahé observait à l'oeil nu. Il repérait les positions des astres avec de grands instruments en bois qui servent à viser les étoiles et à mesurer les angles. Il l'ignorait, mais plusieurs siècles avant lui, les astronomes hindous et amérindiens réalisaient aussi les mêmes observations.

3 - Copernic croyait toujours à cette vieille idée de Ptolémée: même un scientifique célèbre peut se tromper, au moins partiellement !

Grâce à la lunette astronomique (1), Galilée réalise de nombreuses découvertes fondamentales, qui montrent toutes que Copernic a raison de dire que la Terre tourne autour du soleil:

- la Lune n'est pas une sphère parfaite,on peut voir des montagnes à sa surface. Le soleil, lui-même, n'est pas parfait: on peut y observer des taches noires mobiles (2). Ces découvertes démontrent que l'ancienne idée d'un monde «parfait» dans le ciel est fausse.
- Les planètes Vénus et Mercure ont des phases, comme la Lune. Cela ne peut s'expliquer que si elles tournent autour du soleil.
- Il existe autour de la planète Jupiter 4 petits astres qui tournent autour de cette dernière. Cela démontre que l'idée selon laquelle l'univers entier doit tourner autour de la Terre est manifestement fausse.


SIDEREVS NVNCIVS
MAGNA, LONGEQVE ADMIRABILIA Spectacula pandens, suspiciendaque proponens vnicuique, præsertim verò
PHILOSOPHIS, atq; ASTRONOMIS, quæ à
GALILEO GALILEO PATRITIO FLORENTINO
Patauini Gymnasij Publico Mathematico
PERSPICILLI
Nuper à se reperti beneficio sunt obseruata in LVNÆ FACIE, FIXIS INNVMERIS, LACTEO CIRCVLO, STELLIS NEBVLOSIS,
Apprime verò in
QVATVOR PLANETIS
Circa IOVIS Stellam disparibus interuallis, atque periodis, celeritate mirabili circumuolutis; quos, nemini in hanc vsque diem cognitos, nouissimè Author deprehendit primus; atque
MEDICEA SIDERA
NVNCVPANDOS DECREVIT.
VENETIIS, Apud Thomam Baglionum. M DC X.
Superiorum Permissu, & Priuilegio.

Couverture du livre de Galilée «le messager céleste» (Sidereus Nuncius, en latin) où il annonce les découvertes qu'il a réalisées avec sa lunette astronomique. Par le web, vous pouvez avoir accès à la version originale, où à une traduction en français.

Galilée (*portrait ci-contre, vers 1606*) publie ses découvertes dans un livre, *le messager céleste*, en 1610. En 1632, il publie un autre livre, «dialogue sur les deux plus grands systèmes, celui de Ptolémée et celui de Copernic» où il tourne en ridicule l'idée d'une Terre immobile au centre de l'univers. C'en est trop pour les Jésuites, partisans d'une Terre immobile, qui obtiennent sa condamnation par l'Église catholique (3).

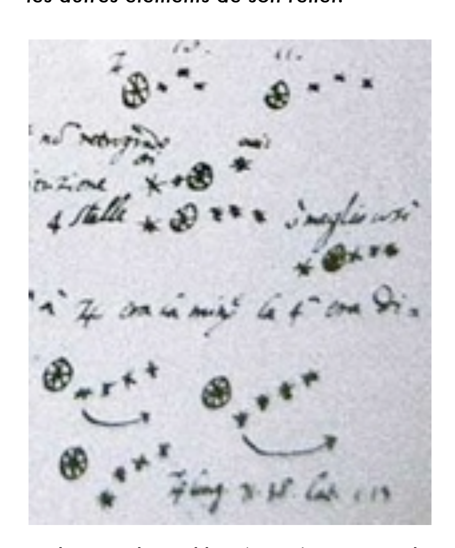
Galilée a toutefois lancé une révolution scientifique: grâce à lui, les astres ne sont plus de simples points lumineux dont on se contente de décrire la trajectoire, ce sont des mondes, comme la Terre, que l'on peut étudier. De nombreux scientifiques vont, entre le 17 et le 19ème siècle, explorer le système solaire que Kepler et Galilée ont ouvert à l'intelligence humaine (4).

12 - Une étoile, 8 planètes, de très nombreux satellites, des roches et de la glace

Ainsi, de nombreux astronomes réalisèrent, au fur et à mesure que les instruments d'optique se perfectionnaient, des observations, des cartes des différentes planètes et des mesures des dimensions du système solaire. Ainsi, . Cassini, en 1673, mesure précisément la distance Soleil-Terre et étudie les planètes Jupiter et Saturne, dont il découvre l'anneau ainsi que des satellites. Un des plus grands scientifiques de tous les temps, Isaac Newton (5), explique en 1687 les mouvements des astres par une force, la gravité, dont il calcule l'expression. Cela permet à E. Halley de prédire le retour d'une comète en 1705. Aux cinq planètes connues depuis l'antiquité, William Herschel ajoute, en 1781, Uranus, qu'il découvre. Il montre aussi que le soleil est une étoile comme les autres. D'autres astronomes découvrent de petits corps, les astéroïdes, principalement entre Mars et Jupiter. En utilisant les découvertes de Newton, Le Verrier calcule la position d'une autre nouvelle planète, Neptune, découverte en 1846 à l'endroit qu'il a prédit. Le système solaire se peuple et s'agrandit ainsi de corps divers. Le tableau



Dessin de la Lune (Sidereus Nuncius, 1610) montrant ses montagnes ainsi que les autres éléments de son relief.



Schémas de Galilée (1609) montrant les 4 «petites étoiles» (satellites), mobiles de jour en jour, qu'il observe à proximité de la planète Jupiter.

1 - Les lunettes de Galilée étaient d'une très mauvaise qualité, selon les critères modernes. Grossissant moins de dix fois, elles donnaient des images un peu floues sur les bords, et avec des taches de couleurs... La moindre paire de jumelles actuelles donne de meilleures images! En sciences, l'important n'est donc pas seulement la perfection de l'instrument, mais aussi l'intelligence de celui qui le manipule! (pensez-y avant de vous plaindre de vos microscopes de mauvaise qualité....)

2 - Les astronomes chinois, depuis l'an -28, avaient déjà observé ces taches à l'oeil nu (à travers d'épais nuages, du brouillard ou des tempêtes de sable (n'essayez surtout pas, c'est très dangereux pour votre vue), mais sans y accorder d'importance particulière.

3 - Certains passages de la bible laissant penser que la terre est immobile et le soleil tourne autour...

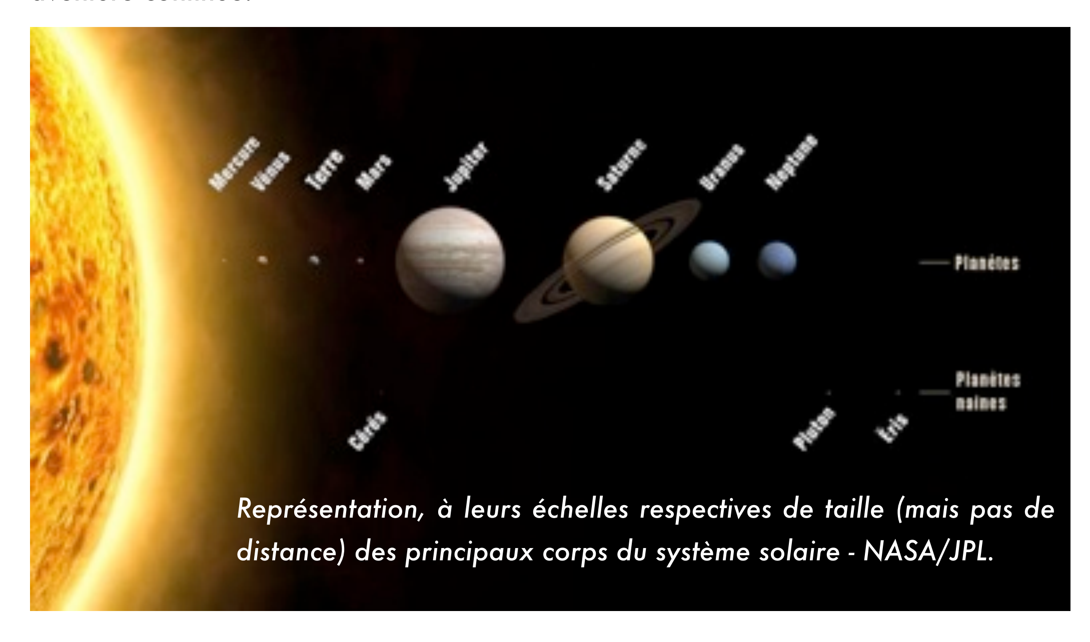
4 - Une chronologie, sur le site, résume cette aventure humaine.

5 - Une vieille connaissance de votre programme de physique de troisième, non ?

suivant présente ces nombreux astres, de taille et de composition diverse. Les plus gros sont les planètes, dont le nombre a été arbitrairement fixé à 8 (1).

Corps céleste	Particularités	Exemples
Étoile	Produit de la lumière à partir de réactions thermonucléaires fabriquant de l'hélium à partir d'hydrogène.	Le soleil
Planète	Tournent autour du soleil. Peuvent être assez massives pour retenir des gaz et posséder ainsi une atmosphère. Elles peuvent posséder aussi des satellites.	Mercure, Vénus, Terre, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune
Satellite	Corps céleste en orbite autour d'une planète	La Lune
Astéroïde	Corps céleste de petite dimension (du mm au millier de km, les plus nombreux étant les plus petits), formé de roches, de métaux ou de glace. Ils peuvent percuter une planète, on les appelle alors météorite.	Pallas, Vesta, mais aussi les anneaux de Saturne...
Comète	Corps céleste surtout formé de glace mêlée à de la roche et à des molécules carbonées, orbitant très loin du soleil, mais pouvant s'en rapprocher fortement. Lors de cette approche, ils perdent leur gaz qui, reflétant la lumière solaire, forme une traînée qui peut être spectaculaire.	Les comètes portent le nom de leur découvreur: Halley, Hale Bop, Encke...
Planétoïde (ou planète naine)	Gros astéroïdes sphériques orbitant, le plus souvent, au-delà de l'orbite de Neptune. Il en existe aussi entre Mars et Jupiter	Pluton, Ceres, Eris, Makemake, Haumea.

Il est alors devenu possible de construire une représentation d'ensemble du système solaire. Toutefois, les astronomes, au cours du 20éme siècle, étudieront davantage les étoiles et l'espace lointain, et l'exploration détaillée des planètes ne commencera que dans les années 1970, lorsque plusieurs sondes spatiales américaines parcourront le système solaire en étudiant plusieurs planètes, accumulant les découvertes. Cette aventure continue.



Représentation, à leurs échelles respectives de taille (mais pas de distance) des principaux corps du système solaire - NASA/JPL.

Distances dans l'univers

Unités de mesure en astronomie

1. L'unité astronomique, UA

C'est une unité adaptée aux mesures de distances dans le système solaire. Elle correspond à la distance moyenne de la Terre au Soleil, soit 150 millions de km.

2. L'année-lumière, A.L.

La superstar des unités astronomique, popularisée par d'innombrables films de science-fiction ! Elle correspond à la distance parcourue par la lumière en une année. La vitesse de la lumière étant voisine de 300000 km/s, vous calculerez aisément combien de km un rayon lumineux parcours en un an (2).

Il en existe des sous-multiples comme la minute-lumière. La plus proche étoile du soleil, Proxima centaurii, se trouve à 4 années lumières de distance (3).

3. Le PARSEC, pc

Cette unité correspond à la distance à laquelle l'orbite terrestre est vue sous un angle de 1 seconde d'arc (1'' - 4). Un parsec (abréviation de parallaxe seconde) vaut 3,26 A.L. Cette unité est très employée par les astronomes, car elle est pratique pour effectuer tout un ensemble de calcul de distances d'étoiles. On en utilise des multiples comme le kiloparsec (Kpc, 1000 parsecs) ou le mégaparsec (Mpc, 1 million de pc), utilisé pour mesurer les distances qui nous séparent des autres galaxies.

1 - Depuis le 24 août 2006, date à laquelle l'UAI (assemblée mondiale des astronomes) a décidé d'exclure Pluton des planètes du système solaire, car elle ressemble davantage à d'autres corps célestes, les planétoïdes (ou planètes naines) découverts en nombre au-delà de son orbite.

2 - Quel bel exercice, hein ? Vous trouverez qu'1 A.L. = 9500 milliards de km...

3 - La lumière qui vient de cette étoile nous atteint maintenant alors qu'elle est partie à l'époque ou vous partiez en vacance à la fin de votre CM2... Hé oui, c'est grand, l'univers (surtout si vous avez redoublé)...

4 - Tout autour de vous = 360°. 1°= 60', 1'=60''. La pleine Lune représente environ un angle de 30'. C'est ce que l'on appelle «voir sous un certain angle»...

2 Il existe deux grandes familles de planètes dans le système solaire

Après les découvertes de Kepler et de Newton, il a été possible de mesurer la distance entre les planètes et le soleil (1), ainsi que leur diamètre. Il est vite apparu qu'il existait deux groupes de planètes différentes dans le système solaire:

21 Les planètes rocheuses (telluriques) possèdent une surface rocheuse.

Ces planètes ressemblent superficiellement à la Terre. Elles sont principalement faites de roches et de métaux. Leur diamètre est de l'ordre du millier de km. Elles orbitent au voisinage du soleil. Une ceinture d'astéroïdes comprenant plusieurs centaines de milliers de corps (2), les séparent du second groupe de planètes, plus extérieures dans notre système solaire (3), les planètes géantes, dites joviennes à cause de leur ressemblance avec la planète Jupiter.

Les principales caractéristiques des quatre planètes telluriques de notre système solaire, dans l'ordre de leur éloignement du soleil, sont données dans le tableau suivant, ainsi que des liens vers des articles détaillés:

Planète tellurique	Distance au soleil (millions de km)	Masse (terre = 1)	Diamètre (km)	Atmosphère (pression P, Terre = 1)	Satellite
Mercure	58	0,05	4800	non	non
Vénus	108	0,82	12000	P=95, CO_2	non
Terre	150	1	12700	P=1, N_2 et O_2	la Lune
Mars	228	0,1	6700	P=0,006, CO_2 traces de CH_4	Phobos Deimos



Photomontage montrant, à l'échelle, les 4 planètes telluriques du système solaire (de gauche à droite: Mercure, Vénus, la Terre et Mars). La bande claire au nord de Mercure est une zone non encore cartographiée. Vénus est représentée sans son épaisse atmosphère. La Terre et Mars sont représentées telle que vous les verriez depuis l'espace (pour peu qu'il n'y ait pas de tempête de poussière sur Mars). NASA.

1 - *Voir l'exercice machin pour plus de détails à ce sujet.*

2 - *Contrairement à ce qui est montré dans les films de science-fiction, les différents éléments de la ceinture d'astéroïdes sont séparés par des millions de km. Vous pouvez donc traverser sans regarder...*

3 - *Dans d'autres systèmes planétaires, ce type de planète peut être situé très près de son étoile.*

4 - *d'où leur nom: en grec, planetes (écrivez πλανήτης, c'est plus chic) veut dire «astres errants»*

Pendant le cours

Questions d'élèves

Le bon en math (avec des lunettes)

Comment on a mesuré les planètes ?

Grâce à la troisième loi de Kepler. On peut mesurer, par des observations terrestres, le temps mis par une planète pour boucler son orbite. Ce temps étant relié à sa distance au soleil selon un rapport fixe (qu'il faut trouver en établissant la distance au soleil d'une planète dont on connaît la durée de l'orbite, au hasard la Terre), on obtient la distance de la planète. En mesurant sa taille apparente, et connaissant la distance, on calcule sa taille réelle (voir exo machin).

Lou ravi

Le soleil, c'est une étoile ?

Oui, et elle n'a rien d'exceptionnel: il en est de plus petites, mais aussi de plus massives. Dans un rayon de 20 A.L. autour du soleil, on trouve 70 étoiles dont 3 sont plus lumineuses et plus grandes que le Soleil (Sirius, Altaïr et Procyon), 10 sont comparables à notre étoile et 57 sont des étoiles naines rouges, pouvant être bien plus âgées que le soleil.

L'astucieux

En hivers, il fait froid parce que la Terre est loin du soleil ?

Pas du tout, au contraire, c'est en hiver que l'on est le plus près de notre étoile. Les saisons sont liées à l'inclinaison de la Terre sur son orbite, comme nous le verrons...

Le bon élève (qui a la question qui tue)

Pourquoi les planètes tournent en rond autour du soleil ?

Elle ne tournent pas en rond, justement, mais en suivant des trajectoires qui ressemblent à des «cercles écrasés», des ellipses. Quant au «pourquoi» de ta question, il réclame des explications complémentaires...

Le prophète

C'est vrai qu'en 2012 il va y avoir une météorite qui va tomber et ce sera la fin du monde ?

Non. Lorsque les astronomes disent qu'un astéroïde «frôle» la terre, il passe en fait bien plus loin que la Lune. Pas de catastrophe en 2012, si ce n'est le bac pour vous...

Le roi du TP

On peut reconnaître les planètes dans le ciel ?

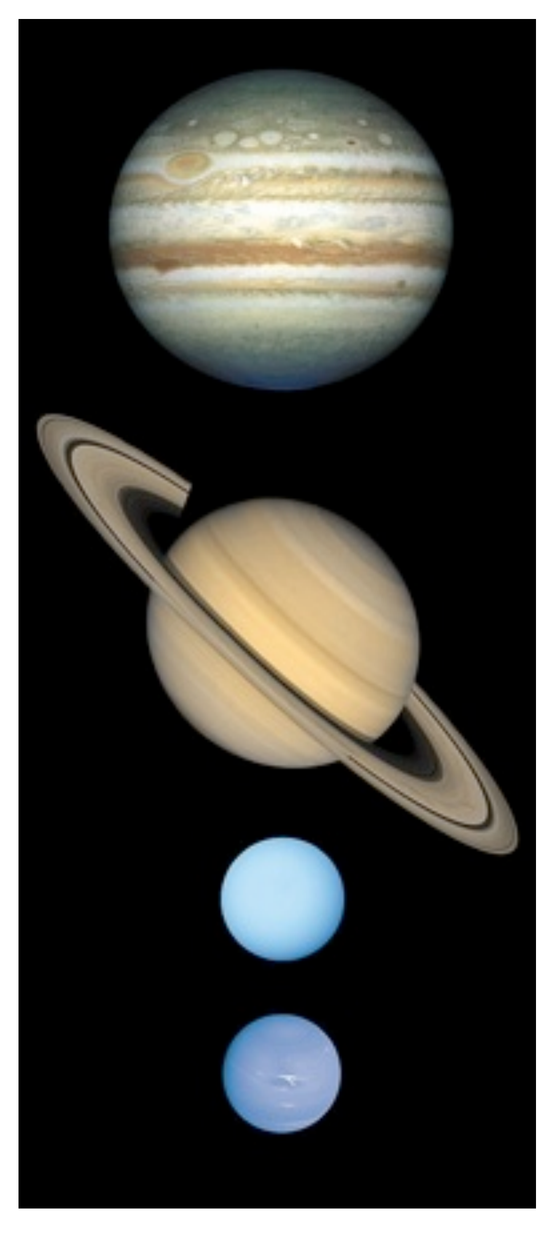
Oui, et très facilement: outre le fait qu'elles sont relativement brillantes et qu'elles se trouvent toutes du côté sud, elles ne scintillent pas comme les étoiles. De plus, de semaine en semaine, elles semblent se déplacer par rapport aux étoiles (4). Les plus faciles à observer en France sont Jupiter, Saturne, Vénus («l'étoile» du berger, visible le soir ou le matin) et Mars (à l'éclat rouge caractéristique).

22 - Les planètes joviennes sont surtout constituées de gaz.

Ce sont des planètes massives (leur diamètre varie de 50000 à 150000 km). Deux (Jupiter et Saturne) sont connues depuis l'antiquité, leur taille les rendant très brillantes dans le ciel malgré leur éloignement. Nous avons vu que les deux autres, Uranus et Neptune, ont été découvertes aux 18^{éme} et 19^{éme} siècle.

Toutes possèdent une atmosphère très épaisse qui leur a valu le nom de planètes gazeuses, des anneaux (parfois spectaculaires, comme Saturne) ainsi que de nombreux satellites, dont certains de grande taille (Ganymède, satellite de Jupiter, est plus gros que la planète Mercure !). Les principales caractéristiques de ces planètes sont résumées dans le tableau ci-dessous (*les liens vous conduisent à des articles détaillés*).

Planète jovienne	Distance au soleil (millions de km)	Masse (terre = 1)	Diamètre (km)	Atmosphère	Satellites
Jupiter	778	316	142000	H, He, CH_4, H_2O...	63 (dont 4 gros)+ anneaux
Saturne	1427	95	120000		60 (dont 6 gros)+ anneaux visibles
Uranus	2870	14,5	51000	H, He, CH_4, NH_3...	27 (dont 4 gros)+ anneaux
Neptune	4500	17	50000		13 (dont 2 gros)+ anneaux



Photomontage montrant, à l'échelle, les 4 planètes joviennes du système solaire (de haut en bas: Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune). Les bandes nuageuses et la tempête «permanente» (la grande tache rouge, un cyclone géant qui dure depuis plusieurs siècles) de Jupiter sont bien visibles, ainsi que le système d'anneaux de Saturne. La couleur bleue d'Uranus et Neptune est due en partie au méthane présent dans leur atmosphère. Ces couleurs sont réelles, ce sont celles que verrait un oeil humain. NASA.

Au-delà de l'orbite de Neptune, on trouve divers corps célestes regroupés dans deux ensembles différents:

- la ceinture de Kuypers (entre 30 et 50 UA) comprend de nombreux astéroïdes de roche et de glace, dont les planètes naines Pluton-Charon, (1) Quaoar, Varuna et Orcus. À la limite extérieure de la ceinture orbite le planétoïde Sedna (2).

- Le nuage de Oort, très loin du soleil (plus de 50000 UA) contiendrait des millions de fragments glacés qui constituent le noyau des comètes qui, parfois, plongent vers l'intérieur du système solaire.

1 - Pluton n'étant plus comptée parmi les planètes depuis 2006 (je sais, je l'ai déjà dit, mais il y a des gens qui ne lisent pas toutes les pages de ce manuel - certes, ils ont tort).
2 - Mais d'où viennent ces noms sortis tout droit de «Godzilla contre Mégatron»? Les planètes sont nommées d'après les noms de diverses divinités, Oort et Kuypers, quant à eux, ne sont pas dieux, mais des astronomes.

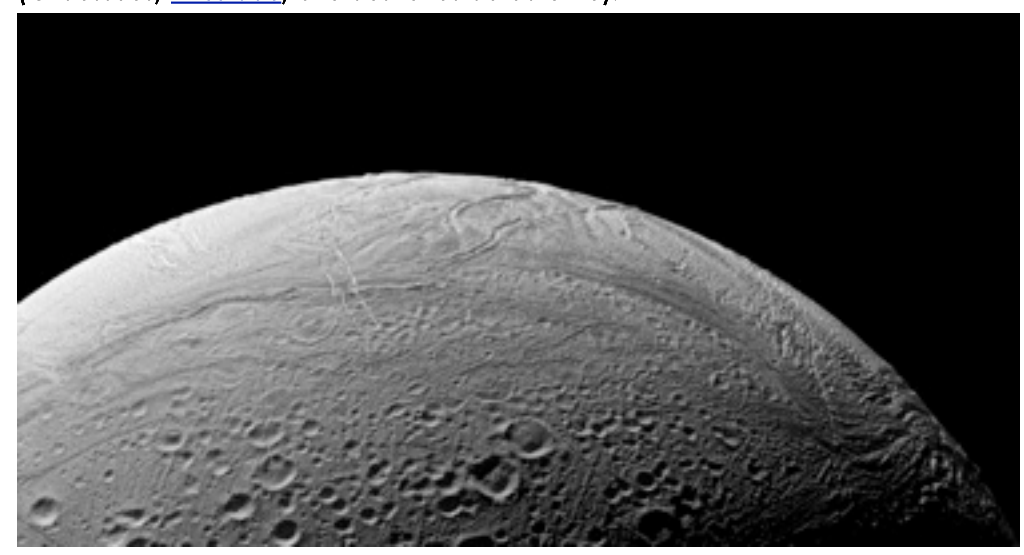
Résumé

La Terre est une planète rocheuse tournant autour de l'étoile Soleil. Le système solaire contient de nombreux corps de taille et de composition différentes, certaines planètes ont une surface rocheuse alors que d'autres, les gazeuses, sont plus grandes et constituées d'une épaisse atmosphère.

Quelques visions du système solaire

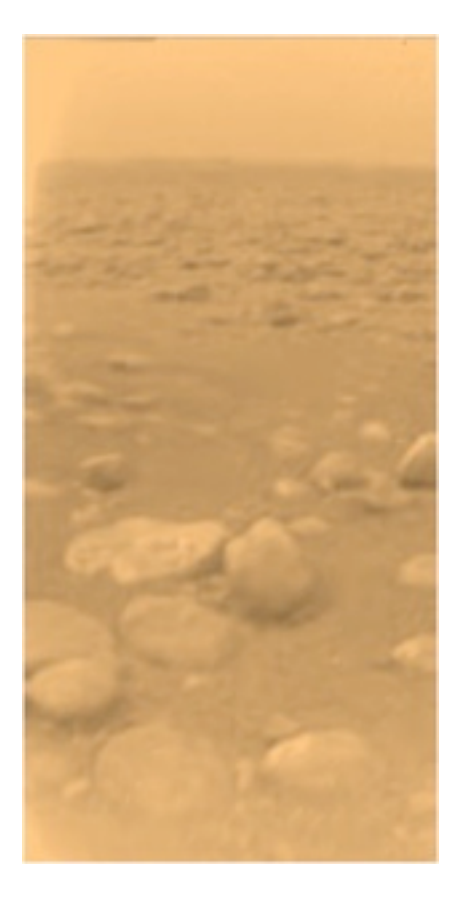
Paysage martien, photo NASA/JPL

Les nombreux satellites (il en existe 16 de grande taille, soit plus de trois fois plus que de planètes dans le système solaire) des planètes joviennes sont des mondes à part entière, possédant parfois une atmosphère (Titan), une activité volcanique (Io) ou, probablement, des océans recouverts d'une croûte de glace (Ci dessous, Encelade, une des lunes de Saturne).



Si la Terre (*ci dessous, photographiée par les astronautes d'Apollo 8 - a noter que la forte lumière réfléchie par notre planète nous empêche de la voir se détacher sur un fond rempli d'étoiles, comme elle l'est réellement*) est la seule planète du système solaire où de nombreuses formes de vie, «*les plus belles et les plus merveilleuses ont évolué, et évoluent encore*» (1), il est possible (2) qu'une vie microbienne se soit développée ou bien ait été transportée (à partir de la Terre, par des météorites arrachées à notre planète) sur de nombreuses planètes et satellites: Mars, les profondeurs d'Europe et d'Encelade ainsi que l'atmosphère de Jupiter sont ainsi, peut-être, des milieux favorables à une vie bactérienne. Une vie intelligente (3), par contre, devra être recherchée au-delà de notre système solaire (4).





Le 14 janvier 2005, la sonde Européenne Huygens, transportée par la sonde américaine Cassini, s'est posée à la surface de Titan, satellite de Saturne. Là, par -170°C, elle a photographié le paysage plat jalonné de galets de glaces et le ciel orangé de ce satellite à l'épaisse et froide atmosphère. Photo NASA/ESA



Même les astéroïdes peuvent posséder leurs propres satellites! Ici, le minuscule Dactyl (1,5 km de diamètre) tourne autour de l'astéroïde Ida (56 km de long). Photo prise par la sonde Galileo, en route vers Jupiter, le 28 août 1993 - NASA/JPL.

---

1 - De qui est cette citation ? Si vous avez eu le temps d'étudier l'évolution en troisième, vous auriez pu deviner qu'elle est de Charles Darwin. C'est la dernière phrase de son livre «l'origine des espèces».

2 - Il s'agit bien d'une possibilité scientifique, pas d'une certitude. Toutefois, l'existence de formes de vies extraterrestres peut être considérée comme étant extrêmement probable.

3 - Certains affirment qu'il y aurait une vie intelligente sur la Terre. Ils veulent sans doute parler

Hors programme

Au-delà du système solaire...

Ils regardaient monter
en un ciel ignoré
Du fond de l'horizon des étoiles nouvelles...

J.M. de Heredia - Les conquérants.

Le soleil, une étoile de la galaxie voie lactée.



Le soleil fait partie d'un ensemble de 300 milliards d'étoiles, disposées en un disque (de 100000 A.L. de diamètre) renflé en son centre, et qui est une galaxie. «Notre» galaxie est la Voie lactée (*la photo ci-contre montre une galaxie qui ressemble à notre Voie lactée, qui nous apparaîtrait donc ainsi si nous pouvions la voir «de l'extérieur»*). Le soleil se situe à 27000 A.L. du centre galactique, et comme nous sommes dans la Voie lactée celle-ci nous apparaît comme un bandeau faiblement lumineux (laiteux, d'où son nom!) qui traverse le ciel nocturne (1).



Photo HST/JPL/NASA

L'univers contient des milliards de galaxies de toutes tailles et formes, qui le plus souvent s'éloignent les unes des autres. L'existence de cet éloignement permanent, entre autres, à conduit les astronomes à découvrir que notre univers s'est formé il y a environ 13 milliards d'années au cours d'un événement appelé «big bang» (2).

Photo: le télescope spatial a visé pendant 10 jours, afin «d'accumuler» de la lumière, une minuscule région «vide» du ciel. Des milliers de galaxies sont alors apparues, de toutes tailles et formes, prodigieusement éloignées (3) -

1 - Et que vous ne verrez jamais si vous habitez en ville, avec l'éclairage urbain! La Voie lactée, pour être bien vue, nécessite un ciel bien noir. Jetez-y un coup d'oeil pendant vos prochaines vacances, la nuit, après vous être habitué à l'obscurité pendant une dizaine de minutes, afin que la pupille de vos yeux se dilate et augmente votre sensibilité à «l'obscure clarté qui tombe des étoiles» comme disait Corneille dans Le Cid (enfin, c'est Rodrigue qui le dit, pas Corneille)

2 - que beaucoup confondent trop souvent avec la formation de la Terre, qui ne date que de 4,5 milliards d'années...)

3 - la zone visée à la surface d'une balle de Tennis vue à 100 m. On y a détecté environ 3000 galaxies (mettons 100 milliards d'étoiles pour chacune, on ne va pas mégoter). Certaines de ses galaxies sont situées à 12 milliards d'années-lumière, ce qui signifie que la lumière interceptée par le télescope spatial était 3 fois plus vieille que notre soleil...



Ci-dessous : le système Terre-Lune, représenté à l'échelle tant au niveau des dimensions que des distances. (Mars, la planète la plus proche, est...260 fois plus loin que la Lune!)



Exoplanètes

Nous ne sommes pas seuls

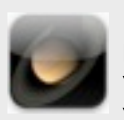
Depuis 1992, où la première découverte d'une exoplanète (tournant autour d'une autre étoile que le soleil) a été annoncée, Les astronomes ont découvert plus de 400 exoplanètes, principalement de type jovien. Certaines sont organisées en systèmes complets de plusieurs planètes (jusqu'à 5 pour le système de l'étoile 55 cancri), comparables à notre système solaire.

les techniques actuelles ne permettent pas encore de détecter les planètes de la taille de la Terre autour des autres étoiles, ce qui devrait être réalisé dans les années à venir par les satellites Corot et Kepler). Toutefois, , ces dernières années, l'amélioration des techniques a permis de détecter les premières planètes de type terrestre, même si elles sont plus massives que notre Terre. Dans quelques dizaines d'années, le perfectionnement des techniques d'observation devrait permettre de détecter à leur surface les indices éventuels de la présence de formes de vie extraterrestres.

- Sur le web -

Le Jet Propulsion Laboratory: des photographies, des podcasts, des vidéos issues des programmes spatiaux américains passés, actuels et futurs.

Deux BD gratuites racontant l'histoire de l'astronomie: cosmic story et mille milliards de soleils.



Une application gratuite pour ipod/iphone: **planètes** vous donnera position et visibilité de toutes les planètes.

Questions

1/Qu'est-ce qu'une planète ?
2/Qu'est ce qu'une étoile ?
3/Comment définit on une ellipse ?
4/Qu'est-ce qu'une orbite ?
5/Quelle est l'âge de la Terre ?
6/Qu'est-ce qu'un satellite ?
7/ Pourquoi a t'on pu croire si longtemps que le soleil tournait autour de la Terre ?
8/ Pour quelles raisons les Humains ont-il commencé à observer le ciel ?
9/Qui était Nicolas Copernic ?
10/ Quelles sont les preuves, obtenues par Galilée, de la mobilité de la Terre autour du soleil ?

Colles

1/Comparer dans un tableau les planètes telluriques et Joviennes.
2/Si l'histoire de L'univers était présentée sur un DVD de 2h, quand verrait-on la formation du système solaire, celle de la Terre, les premières espèces ayant laissé des fossiles directement visibles, et le développement des espèces d'homininés ? (*vous pouvez faire un schéma pour répondre - et oui, vous allez devoir chercher ces infos également dans ce que vous devriez savoir depuis la troisième*)
3/Si la Terre avait la taille d'un ballon de football, quelle serait alors la taille de la Lune ? de Mars ? De Jupiter ? de Titan ? (Essayez de les comparer à des objets usuels).
4/Si le soleil avait la taille d'un ballon de basket, quelle serait alors la taille de la Terre ? De Jupiter ? (Essayez de les comparer à des objets usuels).
5/ Sur une maquette du système solaire, on place Mars à un mètre du soleil. A quelle distance faut-il placer Vénus ? Et Saturne ? Et la dernière planète du système solaire ?

Exercices

1 la Terre est ronde (3 pts)

Avant de faire de la Terre une planète, il fallait connaître sa forme! À la suite des philosophes grecs Pythagore (oui, lui) et Parménide, qui postulent que la Terre est ronde pour des raisons de géométrie, Platon (vers - 400 AEC) et Aristote (vers - 350) citent deux observations comme preuves que la Terre est une sphère:

- au cours des éclipses de Lune, l'ombre de la terre, projetée sur le satellite, est toujours circulaire
- lorsque l'on se déplace suffisamment, par exemple vers le sud, on voit apparaître dans le ciel de nouvelles étoiles devant soi alors que d'autres, derrière soi, disparaissent sous l'horizon (rassurons-nous : on les retrouve si l'on revient en arrière).

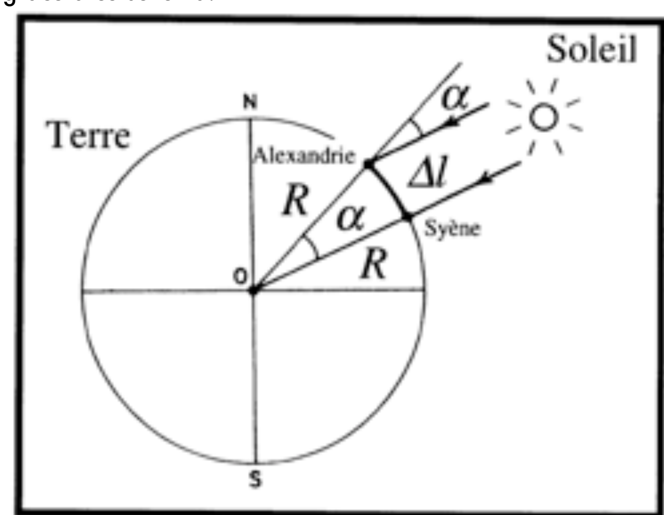
Vers l'an 0, Strabon ajoute une autre observation comme preuve: lorsque l'on regarde un bateau s'éloigner sur la mer, la coque disparaît en premier, puis le mat. Si le bateau s'approche, c'est l'inverse.

Expliquez en quoi ces trois observations constituent des preuves de la rotondité (oui, on dit comme ça) de la Terre.

2 - Eratosthène (and friends) (4 pts)

Vers l'an -205, l'astronome Ἐρατοσθένης (version originale sous-titrée : prononcez Eratosthène), directeur de la grande bibliothèque d'Alexandrie, mesura la Terre avec le seul secours de l'ombre d'un bâton (hum, ça, c'est pour la légende, un obélisque, en fait): Eratosthène avait entendu dire que le 21 juin (*le solstice d'été, jour pendant lequel le soleil est le plus haut dans le ciel, commencement de l'été, et jour le plus long de l'année, oui, on apprend des choses même dans les exos, c'est fait pour ça!*), à midi, les rayons du soleil tombaient perpendiculairement au sol dans la ville de Syène (Assouan, de nos jours). On pouvait même, grâce à cela, voir le soleil se refléter dans le fond d'un puits. Le même jour, au même moment, Eratosthène constate qu'a Alexandrie, exactement au nord de Syène, un obélisque projette une ombre. Il mesure l'angle de cette ombre avec la verticale, elle est de 7,2°. En se fiant aux cartes égyptiennes, notre astronome trouve que la distance entre Alexandrie et Syène est de 5000 stades égyptiens (comme vous le savez tous, un stade égyptien = 157,5 m).

Eratosthène montre que l'angle qu'il a mesuré est égal à l'angle qui sépare les deux villes sur une Terre sphérique, grâce à ce schéma:



Dès lors, il lui est facile de calculer la circonférence, donc le diamètre de la Terre. Serez-vous aussi subtils que lui ?

21 - Calculez donc à votre tour la circonférence et le diamètre de la Terre d'après ses mesures. Vous les comparerez ensuite aux valeurs «moderne».

22 - Refaites la démonstration d'Eratosthène (égalité des deux angles alpha du schéma - il faut bien que tous ces trucs que vous avez appris en math vous servent à quelque chose).

3 Antiquités

Dans son encyclopédie «histoire naturelle», l'écrivain romain Pline l'ancien, vers l'an 50, donne plusieurs arguments qui montrent que le soleil est considérablement plus grand que la Terre:

«Il (le soleil) est immense, car une ligne d'arbres plantés dans l'étendue d'autant de milles qu'on voudra donnera des ombres parallèles, comme si l'astre répondait à tous les points de cette ligne.

Il est immense, car à l'équinoxe il paraît, au même moment, vertical pour tout l'espace qui s'étend d'un tropique à l'autre.

Il est immense, car pour ceux qui habitent en deçà du tropique l'ombre est projetée à midi vers le nord, à l'heure du lever vers le couchant; ce qui ne pourrait se faire s'il n'était beaucoup plus grand que la terre.

Il est immense, car à son lever il dépasse en largeur le sommet du mont Ida (plus haut sommet de Crète), qu'il déborde amplement à gauche et à droite, malgré la distance énorme qui l'en sépare.
Mais ce qui démontre indubitablement la dimension du soleil, ce sont les éclipses de lune (...) En effet, il y a trois figures d'ombres : si le corps opaque est égal au corps éclairant, l'ombre a la forme d'un cylindre prolongé indéfiniment; si le corps opaque est plus grand que le corps éclairant, l'ombre a la forme d'un cône droit, dont la partie inférieure est la plus étroite, et qui se prolonge également indéfiniment; si le corps opaque est plus petit que le corps éclairant, l'ombre a la forme d'un cône qui se termine par une pointe, et telle est l'apparence de l'ombre de la terre dans l'éclipse de Lune. Il ne reste donc aucune raison de douter que le soleil ne l'emporte en grandeur sur la terre, et la nature même semble l'indiquer par des témoignages muets : pourquoi, en effet, pendant une moitié de l'année, le soleil s'éloigne-t-il de nous! C'est pour refaire par la fraîcheur des nuits la terre, qu'il embraserait sans aucun doute, et que même il embrase en certaines parties, tant sont grandes ses dimensions.»

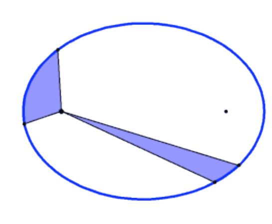
Parmi les arguments de Pline, certains sont tout à fait exacts, et défendables, tandis que d'autres sont fantaisistes. Classez-les donc en arguments corrects et erreurs, en expliquant où se situe l'erreur. Peut-on pour autant dire que Pline était un mauvais scientifique ? (Motivez votre avis).

<u>4 - Quand Kepler fait la loi. (8 pts)</u>

En 1609, nous avons vu que l'astronome Kepler avait découvert, en étudiant les mesures réalisées par Tycho Brahé, les lois qui contrôlent le mouvement des planètes:



loi 1 - Les planètes décrivent des orbites elliptiques dont le soleil occupe un des foyers



loi 2 - Le mouvement de chaque planète est tel que le segment de droite reliant le Soleil et la planète balaie des aires égales pendant des durées égales. (*sur le schéma ci-contre, les deux aires en violet étant égales, la planète parcours les arcs d'orbite correspondant pendant la même durée - schémas Stw-Wikimedia*).

En 1618, il découvre une troisième loi:
loi 3 - Pour toutes les planètes, le rapport entre le cube du demi-grand axe (distance à l'étoile) de l'orbite et le carré de la période de révolution (temps pour tourner autour de l'étoile) est constant.

41 - Le premier des deux schémas, ci-dessus, est correct, mais pourrait toutefois vous induire en erreur, saurez-vous trouver pourquoi (ce n'est pas parce qu'il est rédigé en anglais!) ?

42 - D'après la deuxième loi, comment la vitesse d'une planète évolue t'elle au fur et à mesure qu'elle parcourt son orbite ? (Comparez ce qui se passe lorsqu'elle se rapproche du Soleil et lorsqu'elle s'en éloigne)

431 - Imaginons que des planètes tournent autour de l'étoile Zeta reticuli. Si la planète Zeta II est éloignée de 25 millions de km de son étoile et boucle son orbite en 50 jours (terrestres!), a quelle distance de son étoile est située la planète Zeta IV, qui tourne autour de Zeta reticuli en 400 jours ? (vous devrez utiliser à un moment la touche «racine cubique» de votre calculatrice - c'est le moment de lire sa notice!)

432 - Si l'on veut utiliser la troisième loi de Kepler pour mesurer les distances des planètes dans le système solaire, de quels éléments, de quelles données doit-on disposer ?

<u>5 -Problèmes de transit (8 pts)</u>

Pour mesurer les distances dans le système solaire, les astronomes, dès sa découverte, ont pensé utiliser la troisième loi de Kepler. Cette loi relie la période P (le temps mis par une planète pour tourner autour du soleil, facile à mesurer: c'est le temps au bout duquel elle revient à la même position dans le ciel, par rapport aux étoiles) et le demi-grand axe de son orbite. Comme les orbites des planètes sont très peu elliptiques (presque des cercles) ce demi-grand axe n'est autre que leur distance D au soleil). La troisième loi nous dit: D^3/P^2 = constante K. Si on connaît donc P et D pour une planète, la simple mesure de la période des autres nous donnera leur distance au soleil D.

51 - Établissez la formule liant le cube de la distance à la période (facile, non ?)

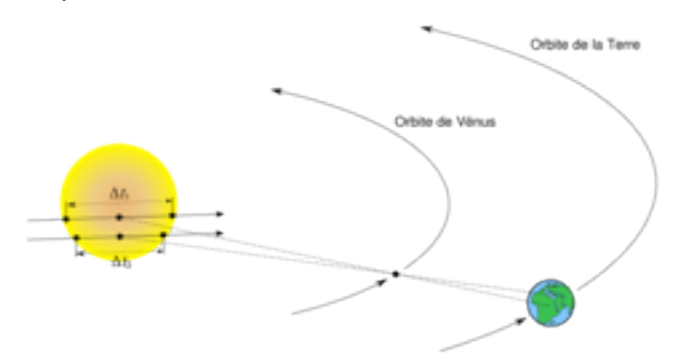
52 - Des astronomes subtils (y en a t'il d'autres ?) eurent très tôt l'idée suivante: même en ignorant sa distance exacte au soleil, si on prend D=1 pour la Terre, on doit pouvoir trouver la distance des autres planètes au soleil dans cette unité (dite unité astronomique, et savoir, par exemple, si Mars est 2,3 fois plus loin du soleil que la Terre, par exemple.

Si l'on prend les périodes de révolution (en jours terrestres) suivantes:

planète	Mercure	Vénus	Mars	Jupiter	Saturne	Uranus	Neptune
période	88	225	687	4330	10756	30687	59790

Calculez (en arrondissant au dixième) la distance de ces planètes au soleil en prenant comme référence l'unité astronomique (*vous devrez utiliser à un moment la touche «racine cubique» de votre calculatrice - c'est le moment de lire sa notice!*)

53 - Dès 1663, l'astronome James Gregory montre que l'on peut calculer le distance de la Terre au soleil en utilisant les passages de Vénus devant le soleil (on appelle ces passages des transits). Halley précisera et étudiera aussi cette méthode. Le principe en est donné dans le schéma suivant (*Duckysmokton, Wikimedia*):



Il s'agit d'observer un passage de Vénus devant le soleil (ils se produisent par paires séparées de 8 ans, plus d'un siècle s'écoulant entre chaque paire de passage) depuis deux régions de la surface de la Terre. On comprend facilement que plus la Terre est près du soleil et plus l'écart entre les endroits où l'on voit passer Vénus devant le soleil (et donc les différences entre les durées Δt1 et Δt2 de son passage) est grand. En fait, cet écart permet de mesurer l'angle sous lequel la Terre est vue depuis le soleil. Réfléchissez donc et précisez quelles sont les meilleures conditions pour réaliser cette mesure.

6 -E pur si muove ! (5 pts)

Au cours de son procès, Galilée chercha à présenter des preuves du mouvement de la Terre autour du soleil. Il avait trouvé comment répondre aux objections datant d'Aristote:



Galilée résumait ces objections, que lui présentaient les jésuites, ses ennemis, de la façon suivante:



Toutefois, Galilée savait où trouver une preuve du déplacement de la Terre, tout comme, avant lui, Tycho Brahé. Le problème, c'est que cette preuve manquait à l'appel:



BD: Extrait de cosmic story - sciences sans frontières- (J.P. Petit)

Malgré les meilleures observations, impossible de distinguer un changement dans la position d'une étoile par rapport aux autres au cours d'une année.

61 - Expliquez pourquoi l'argument d'Aristote (et plus tard des jésuites) est erroné (en clair: est faux). *Pour cela, vous devrez peut-être réaliser des expériences, qui sait, c'est toujours bien vu par un prof, de réaliser des expériences. N'oubliez pas aussi de jeter un oeil sur votre cours de physique, ou de demander l'aide de votre professeur dans cette matière si vous séchez lamentablement...*

62 - Comment expliquer que Tycho n'ai jamais pu détecter le mouvement d'une étoile par rapport aux autres au cours de l'année alors que, vous le savez, tout comme Galilée «e pur si muove!» (et pourtant, elle bouge! - en italien dans le texte).

63 - Tycho, ne pouvant observer le résultat attendu du mouvement de la Terre, élabora ses propres idées, selon lesquelles les planètes tournaient autour du soleil, sauf la Terre, autour de laquelle tournait le soleil et sa suite. Son attitude vous semble t'elle scientifiquement correcte ?

7 - Principe de précaution (3 pts)

L'éditeur de Copernic, Andreas Osiander, rajoute (alors que personne ne le lui demandait) une préface (anonyme...) au livre de Copernic. Il y déclare: «*Il y a déjà eu des rapports largement répandus à propos des hypothèses de ce travail qui déclare que la terre se meut et que le soleil est immobile au centre de l'univers. Ainsi, certains étudiants, j'en suis certain, sont profondément choqués et prétendent que les arts libéraux qui étaient établis depuis longtemps sur des bases solides ne devraient pas être mis en doute (...) Car ces hypothèses ne doivent pas être vraies ni même probables. Au contraire, si elles permettent des calculs en accord avec les observations cela suffit.*»

71 - Comment Osiander considère t'il les idées de Copernic? Pour quelles raisons, selon vous, agit-il de cette façon ?

72 - Copernic lui-même avait-il les mêmes opinions qu'Osiander sur ses idées? Pour vous aider à répondre, sachez que Copernic publia son oeuvre en deux parties: la «narratio prima», un résumé, et le livre lui-même, destiné aux «professionnels». Copernic prend soin de préciser que ses idées ne sont pas nouvelles: il cite des philosophes grecs disciples de Pythagore, ainsi qu'Aristarque de Samos, qui tous ont proposé l'existence d'une Terre mobile tournant autour d'un soleil central. N'oubliez pas que Copernic à longtemps attendu (40 ans !) avant de publier son ouvrage.

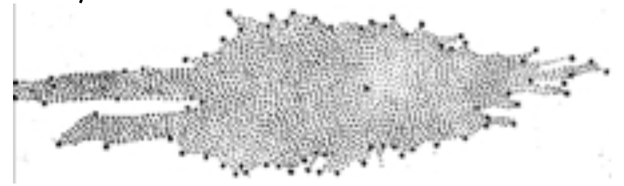
8 -La famille Herschel (4 pts)

En 1781, le musicien et astronome William Herschel, a découvert Uranus. Par la suite, aidé par sa soeur puis, plus tard, par son fils, il réalise de nombreuses observations, construisant lui même des télescopes de plus en plus grands (jusqu'à 1,2 m de diamètre et 12 m de long).

81 - En 1783, en notant la position précise de 14 étoiles et en la comparant avec des valeurs plus anciennes, Herschel met en évidence un mouvement d'ensemble des étoiles du ciel: toutes semblent s'écarter (très très lentement!) d'un point du ciel situé dans la constellation d'Hercule. Il y a «quelque chose» qui bouge pour expliquer ce mouvement, mais quoi ? Proposez donc une hypothèse plausible pour expliquer cette observation.

82 - En 1785, Herschel essaye de préciser la forme de la Galaxie contenant toutes les étoiles visibles. Pour cela, il compte toutes les étoiles dans différentes directions. Comme il ne connaît pas leur distance, il suppose que toutes brillent avec la même intensité, et que leur distance dépend donc seulement de leur éloignement. Il reconstitue ainsi le «nuage

d'étoiles» où se trouve le soleil, et obtient l'image suivante (le soleil est représenté par le point près du centre, à droite):



Nous savons maintenant que la galaxie ne ressemble pas à ce dessin d'Herschel. Quelles erreurs Herschel a t'il pu commettre ?

9 -Cosmic connection (2 pts)

Le 30 septembre 2006, la chaîne de télévision Arte a diffusé une émission «Cosmic Connexion - le premier message de télévision adressé aux extraterrestres». L'idée de l'émission est d'envoyer un message aux hypothétiques habitants extraterrestres d'une des deux planètes orbitant autour de l'étoile Gamma Cephei b (Errai de son petit nom) située à 45 années lumières du soleil. Cette émission était constituée de messages envoyés par les téléspectateurs, sous forme de petits films, de musique, d'images, de sons. C'est une puissante antenne du CNES, près de Toulouse, qui a relayé l'émission en direction de gamma cephei b.

En quelle année les éventuels habitants des planètes tournant autour de cette étoile pourront-ils se délecter des créations audiovisuelles terrestres ?

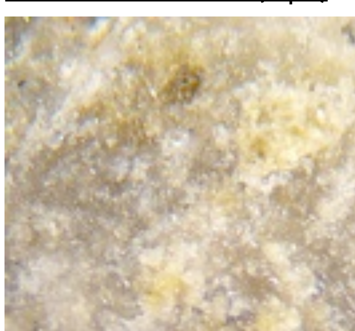
10 - Les tables et la loi (4 pts)

Ptolémée, le grand astronome de l'antiquité, pensait que les orbites des planètes étaient des cercles. Copernic pensait lui aussi que les orbites des planètes étaient des cercles. Ptolémée avait réalisé des tables servant à calculer la position future des astres, utilisées par les astrologues pour les horoscopes, mais aussi pour régler les différents éléments du calendrier, prévoir les éclipses, la durée du jour...

10-1 Les tables basées sur les idées de Ptolémée ont du être corrigées vers 1250, car elles se révélaient de plus en plus fausses (elles avaient plus de 1000 ans). Pourquoi, au fil du temps, les prévisions de Ptolémée étaient elles de moins en moins exactes ?

10-2 Copernic réalisa ses propres tables de position des astres. Curieusement, elles n'étaient pas plus précises ni plus fiables que celles de Ptolémée, bien que Copernic ait situé correctement le soleil au centre du système solaire. Pourquoi , bien qu'il ait eu raison sur la structure du système solaire, les tables de Copernic n'étaient-elles pas meilleures que celles de Ptolémée ?

11 - Décrocher la Lune (4 pts)



Les photographies suivantes montrent un fragment de la météorite d'origine lunaire NWA 4483 grossie 100 fois (*photo collection de l'auteur*).

11-1 D'après la photographie ci-contre, dans quelles conditions la région de la surface lunaire d'où vient cette météorite s'est-elle formée ? (vous devrez pour répondre faire appel à vos connaissances de quatrième... je sais, c'est loin, mais ce que vous avez appris au collège ne doit pas s'oublier !).

11-2 En observant attentivement la photographie suivante, trouvez des éléments qui montrent que lors de sa traversée de l'atmosphère terrestre, cet échantillon de météorite a été soumis à une chaleur intense.



12 - Les imposteurs (4 pts)

Il ne faut pas confondre l'astronomie, science des astres, et une superstition, l'astrologie. D'après l'astrologie, notre avenir dépend de la position des planètes dans le ciel au moment de notre naissance, position qui influence aussi notre futur chaque jour. Les prévisions établies par «signes» (votre signe devrait être la constellation dans laquelle le soleil se levait le jour de votre naissance) sont les horoscopes. Comme vous vous en doutez, ces croyances sont fausses, et datent de l'époque où l'on pensait que la Terre, et les Hommes, étaient au centre de l'univers.

A vous de vous comporter en scientifiques et de trouver des arguments logiques qui démontrent que l'astrologie est une imposture.

Rules, Brittania

Traduisez le paragraphe suivant, tiré du livre «Pale Blue Dot: A Vision of the Human Future in Space» (New York: Random House, 1994, 385) de l'astronome Carl Sagan (photo ci dessous, NASA).



It is the beginning of history, not the end. In more than one respect, exploring the Solar System and homesteading other worlds constitutes the beginning, much more than the end, of history.



Des films pour réfléchir

Giordano Bruno, G. Montaldo, 1973 (introuvable!)
De la Terre à la Lune - série TV 1998 - (DVD) T. Hanks
Tous sur orbite (DVD), N. Gessner, 2004 - excellent, une séquence par jour.
Voyage autour du soleil, 2004
Galilée où l'amour de dieu, JD Verhaeghe, 2005
Agora, A. Amenabar, 2010

Corrections

Questions

1/Une planète est un astre sphérique qui orbite autour d'une (ou plusieurs) étoile. Elle ne produit pas de lumière.

2/Une étoile est un astre qui produit de la lumière et de la chaleur à partir de réactions nucléaires. Les étoiles sont plus massives et plus grandes que les planètes. Elles sont composées de gaz, principalement de l'hydrogène et de l'hélium.

3/Une ellipse est un «cercle écrasé», la forme tracée par un corps céleste qui orbite autour d'un autre. C'est aussi la projection d'un cercle sur un plan qui lui est pas parallèle, où l'intersection d'un cône avec un plan.

4/Une orbite est le chemin, fermé sur lui même, suivi par un astre qui tourne autour d'un autre.

5/La Terre est âgée de 4,4 milliards d'années (soit 4400 millions d'années).

6/Un satellite est un corps céleste qui tourne autour d'un autre: la Lune est le satellite de la Terre, mais la Terre est un des satellites du soleil...

7/ Les humains ont longtemps pu croire que le soleil tournait autour de la Terre parce qu'en apparence, cela semble être le cas. En fait, cette impression est due à un manque de point de repère extérieur à la Terre. Ainsi, si vous êtes dans un train, et que tout ce que vous voyez par la fenêtre est un autre train; lorsque vous voyez ce train bouger, vous ne savez pas si c'est lui qui s'en va ou si c'est votre propre wagon qui commence à se déplacer. Comme l'écrivait La Fontaine dans sa fable «un animal dans la Lune», en parlant du Soleil:

> «*L'ignorant le croit plat, j'épaissis sa rondeur ;*
> *Je le rends immobile, et la terre chemine ,*
> *Bref je démens mes yeux en toute sa machine ,*
> *Ce sens ne me nuit point par son illusion.*
> *Mon âme en toute occasion*
> *Développe le vrai caché sous l'apparence.*»

8/ Les Humains ont-il commencé à observer le ciel afin de se repérer dans le temps en établissant des calendriers basés sur les événements réguliers facilement visibles dans le ciel: phases de la Lune, lever et coucher des étoiles brillantes, hauteur du soleil dans le ciel... Ils pensaient aussi que des événements dans le ciel (passage de comètes, éclipses...) étaient des présages permettant de prévoir l'avenir.

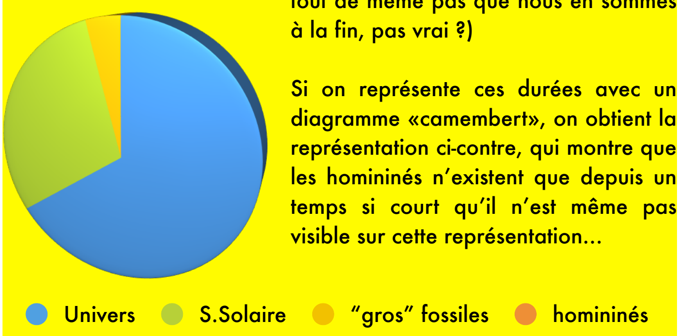
9/Nicolas Copernic a été le premier astronome de la renaissance à affirmer que la Terre n'était pas immobile au centre de l'univers, mais tournait autour du soleil. Lui même avoue que cette idée ne lui est pas personnelle: elle avait été développée par plusieurs philosophes grecs (en particulier Aristarque de Samos, vers -280), mais sans réussir à s'imposer à l'époque à cause, entre autres, d'une connaissance insuffisante de la physique permettant d'expliquer le mouvement de la Terre.

10/ Galilée n'a pas de preuves directes du mouvement de la Terre, seulement des preuves indirectes (de forts indices, pourrait-on dire):
- il observe des phases de Venus et Mercure, ce qui ne s'explique que si ces deux planètes tournent autour du soleil.
- il observe que Jupiter possède quatre satellites, ce qui prouve que, dans l'univers, tout ne tourne pas autour de la Terre
- de façon plus subtile, ces deux découvertes de Galilée (auxquelles s'ajoutent celle des montagnes de la Lune et des taches du soleil) montrent que les conceptions provenant de certains anciens Grecs et reconnues depuis plus de dix siècles comme étant LA vérité pouvaient être fausse (c'est d'ailleurs cette possibilité de changement qui a motivé la peur de l'église catholique)..

Colles

1/Comparer dans un tableau les planètes telluriques et Joviennes.

2/ Les 2 h du DVD représentent 13 milliards d'années, soit 13 000 millions d'années. 2h = 120 min, donc chaque minute du dvd représente 130000/120= 108 millions d'années.
la formation du système solaire a eu lieu il y a 4,5 milliards d'années, en même temps que celle de la Terre (oui, c'était un piège!), donc 13-4,5= 8,5 milliards d'années après le big bang, soit 8500 millions d'années. Pour notre DVD, cela nous donne, en min: 8500/108 soit 79 min à attendre avant que le soleil, la terre et les planètes ne se forment (pendant ce temps, après le «flash» du commencement, vous avez assisté à la formation des galaxies, à leur éloignement progressif, à la naissance des étoiles, à leur mort puis à leur renaissance sous forme d'autres étoiles...)
En raisonnant de la même manière, on obtient les résultats suivants:
- premières espèces ayant laissé des fossiles directement visibles il y a 600 millions d'années, donc 1h 54 min 30 s après le début du film (en gros 5 min avant la fin)
- développement des espèces d'homininés il y a 4 millions d'années soit 2 s avant que le mot «A SUIVRE» ne s'affiche (vous ne pensez tout de même pas que nous en sommes à la fin, pas vrai ?)



Si on représente ces durées avec un diagramme «camembert», on obtient la représentation ci-contre, qui montre que les hominınés n'existent que depuis un temps si court qu'il n'est même pas visible sur cette représentation...

3/Si la Terre avait la taille d'un ballon de football... Un ballon de foot mesure 22 cm de diamètre. la Lune mesure 3500 km de diamètre (*oui, je sais, ce n'est pas écrit dans le manuel. Et alors ? pour faire les exercices, il faut rechercher l'information, vous n'êtes plus au collège! Alors oui, il faut utiliser d'autres sources d'information: livres, films, sites web, coiffeurs...*). La lune mesure donc 3500/12700 = 0,27 fois la Terre. Si la Terre fait 22 cm, la Lune doit faire 0,27x 22 = 6 cm, soit un peu moins qu'une balle de tennis (6,5 cm). De la même façon, on calcule que:
- Mars doit avoir un peu moins de 11 cm de diamètre
- Jupiter est représentée par une sphère de 2,46 m (oui, mètre) de diamètre
- Titan doit avoir 8,9 cm de diamètre à cette échelle

4/Si le soleil avait la taille d'un ballon de basket (24 cm de diamètre, alors que notre étoile mesure en réalité 1392000 km de diamètre), on peut appliquer le même raisonnement que dans l'exercice précédent pour trouver que:
- la Terre (12700 km de diamètre) est représentée par une boule de 2 mm de diamètre (la pointe d'un stylo bille, où la bille de plastique présente dans les cartouches d'encres pour stylo-plume)
- Jupiter est représentée par une sphère de 2,4 cm de diamètre (la taille d'une noix)

5/ Sur une maquette du système solaire, on place Mars à un mètre du soleil. Mars est en moyenne à 228 millions de km du soleil, Vénus à 108 millions de km. Elle est donc 228/108= 2,1 fois plus près de notre étoile. Il faut donc la placer sur la maquette à 1/2,1= 0,47 m du soleil, soit 47 cm. De même, on calcule que:

- Saturne doit être placée à 6,25 m du soleil
- Neptune, dernière «vraie» planète du système solaire, sera éloignée sur cette maquette de 19,7 m du soleil.

Exercices

1 la Terre est ronde

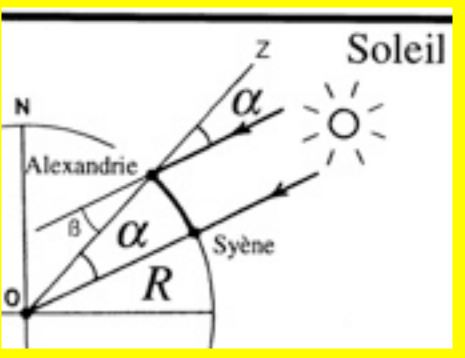
Les trois observations de Platon, Aristote et Strabon constituent des preuves de la rotondité de la Terre car:

- Au cours de n'importe quelle éclipse de Lune, l'ombre de la Terre est ronde. On pourrait croire que la Terre est un disque (plat), mais alors son ombre serait déformée, et pas toujours ronde. La Terre est donc une sphère.
- En se déplaçant vers le sud, on voit de nouvelles étoiles apparaître dans le ciel. La Terre n'est donc pas plate, car sinon on verrait tout le ciel d'un coup. La Terre est donc inclinée dans le sens nord-sud. C'est peut-être un cylindre, mais une sphère serait une forme plus «logique».
- Lorsque l'on regarde un bateau s'éloigner sur la mer, on voit les parties basses disparaître en premier. Si la terre était plate, on verrait tout le bateau devenir de plus en plus petit et disparaître. Si la coque est cachée en premier, c'est que la Terre est courbée. Comme cette observation est valable dans toutes les directions (que le bateau s'éloigne vers le nord, le sud, l'est ou l'ouest), alors la Terre est courbée dans toutes les directions. Si la Terre est courbée dans toutes les directions, elle est donc de forme sphérique.

L'ensemble de ces trois observations ne laisse pas de place au doute: la Terre est une sphère.

2 - Eratosthène (and friends) (4 pts)

21 - Pour résoudre ce problème, il faut être attentif à l'information suivante: «*Eratosthène montre que l'angle qu'il a mesuré est égal à l'angle qui sépare les deux villes sur une Terre sphérique*» donc 7,2° de la circonférence de la Terre correspondent, sur le terrain, à 5000 stades égyptiens. Avec nos unités modernes, nous écrirons:
7,2°= 5000 x 157,5= 787500 m soit 787,5 km (ne pas se tromper dans la conversion...)
Or (c'est là l'idée géniale), le cercle complet représentant le tour de la Terre vaut 360° (comme tous les cercles...). Donc si 7,2° représentent 787,5 km, combien représentent 360° ? (le tour de la terre, sa circonférence...). C'est un simple calcul de proportionnalité:
7,2/360= 787,5/x donc x = (360x787,5)/7,2= 39375 Km
Eratosthène a donc calculé une circonférence de 39375 Km pour la Terre, ce qui correspond à un diamètre de 39375/π = 12533 Km
La valeur réelle du diamètre terrestre étant de 12742 Km, on dit reconnaître qu'Eratosthène, avec l'ombre d'un bâton et des distances mesurées approximativement, n'avait pas mal travaillé!
22 Il existe plusieurs façons de refaire la démonstration d'Eratostène. Elles font appel à de la géométrie de niveau cinquième (oui).



- Vous pouvez considérer que, les rayons du soleil étant parallèles, l'ombre (représentée par le segment OZ) est sécante à deux parallèles. Dès lors, le théorème que vous connaissez tous et disant «un segment coupant deux parallèles le fait selon deux angles égaux» vous permet d'en conclure à l'égalité des deux angles alpha.
- Vous pouvez aussi considérer que les angles alpha étant opposés par leur sommet, ils sont égaux. Ce sont des angles correspondants.
- Vous pouvez aussi raisonner en remarquant que l'angle ß est alterne-interne à l'angle alpha extérieur à la Terre. Ils sont donc égaux. L'angle ß étant alterne-interne avec alpha inférieur, ils sont donc égaux aussi. Ainsi, l'égalité des deux alpha est démontrée.

3 Antiquités

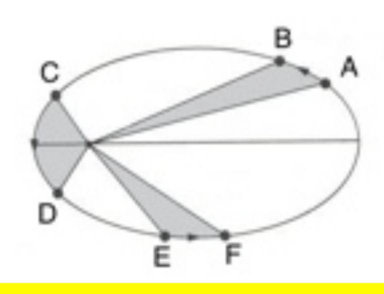
Les arguments de Pline:
Corrects: Les arguments de Pline basés sur les ombres, toujours parallèles quelle que soit la distance qui sépare des objets (arbres, habitants) ,à la surface de la Terre. Toutefois, on peut remarquer que les résultats sont aussi dus à l'éloignement de la source lumineuse. Pour les éclipses de Lune, la description des ombres de Pline (comparez là à celle de votre cours de physique), assez correcte (il ne distingue pas ombre et pénombre) est aussi un bon argument. La dimension du soleil levant par rapport au mont Ida est plus une indication de la distance de l'astre (comme Pline le reconnaît) que de sa grandeur, mais l'argument reste recevable.
Erreurs: Le Soleil ne s'éloigne pas de nous la moitié de l'année (et ne se rapproche pas l'autre moitié), et les déserts ne sont pas plus chauds parce qu'ils sont plus proches du Soleil que les régions tempérées. Paradoxalement, Pline raisonne bien sur la taille du Soleil, mais ne peut concevoir la distance à laquelle il se trouve.
Pline était-il un mauvais scientifique ? Loin de là. À son époque, la plupart pensaient que le Soleil tournait autour de la Terre, aussi l'idée que ce dernier pouvait s'éloigner et se rapprocher de la Terre, même fausse, aurait pu être précieuse (si le soleil tournait sur un cercle autour de la Terre, il n'en serait lamais plus près à un moment où à un autre....). Pline utilise des raisonnements logiques basés sur les connaissances de son époque. C'est donc un excellent scientifique.



On ne peut juger les scientifiques du passé à la lumière de nos connaissances actuelles. Un bon scientifique, à toutes les époques, est celui qui raisonne correctement à partir des observations dont il dispose et en fonction des connaissances qui sont les siennes. L'interprétation d'une observation peut être fausse (pour nous qui connaissons «la fin» - provisoire - de l'histoire, tout en étant rigoureuse. C'est là une des plus grandes difficultés des sciences: savoir interpréter, utiliser une observation ou les résultats d'une expérience.

4 - Quand Kepler fait la loi. (8 pts)

41 - Le premier des deux schémas est certes correct, car il représente bien une orbite en forme d'ellipse (elliptique) mais les ellipses décrites par les planètes sur leurs orbites sont beaucoup plus proches que de la forme circulaire que celle qui est ici représentée ! (Le soleil, par exemple, occupe quasiment le centre de ces orbites «presque circulaires». Par contre, les orbites des comètes ressemblent davantage à cele représentée ici (ce qui signifie que les comètes voient leur distance au soleil varier bien davantage que les planètes).
42 - La deuxième loi (parfois appelée loi des aires) nous dit que sur l'orbite, les rayons joignant la planète à l'étoile parcourent des aires égales en des temps égaux. Autrement dit, sur le schéma ci contre, les trois aires grisées étant égales, la planète met autant de temps pour aller de A en B, de C en D et de E en F. Hors, nous avons CD>EF>AB. Pour aller de C en D, la planète doit mettre le même temps que pour aller de A en B. Le seul moyen pour elle est donc d'accélérer ! On en déduit que la vitesse d'une planète augmente lorsqu'elle se rapproche du Soleil et diminue lorsqu'elle s'en éloigne.



43 On nous parle de période de révolution et de distance à l'étoile, nous allons donc utiliser la loi 3 (le rapport entre le cube du demi-grand axe de l'orbite et le carré de la période de révolution est constant.)

431 - La planète Zeta II est éloignée de 25 millions de km de son étoile et boucle son orbite en 50 jours terrestres. Ces indications nous permettant de calculer la fameuse constante:

$C= (\text{distance})^3/(\text{période})^2 = (25)^3/(50)^2 = 6,25$

Cette constante est la même (c'est pour cela que c'est une constante, justement!) pour tout ce qui tourne autour de l'étoile Zeta Eridani.

Pour la planète Zeta IV, on cherche le distance à l'étoile d. D'après la relation $C= (\text{distance})^3/(\text{période})^2$, on a $(\text{distance})^3=C\times(\text{période})^2$ donc $(\text{distance})^3=6,25 \times (400)^2 = 1000000$. La touche «racine cubique» de votre calculatrice vous donne alors le nombre qu'il faut mettre au cube pour obtenir 1000000, c'est-à-dire 100 - Oui, la calculatrice était inutile, un peut de réflexion aurait suffit (comme souvent, tiens!). Zeta IV est donc située à 100 millions de km de son étoile (hé oui, nous avions comté en millions de km, ne pas se tromper dans les unités).

432 - L'exercice précédent permet de répondre: si l'on veut utiliser la troisième loi de Kepler pour mesurer les distances des planètes dans le système solaire, on a besoin des périodes des planètes (facile à mesurer, c'est le temps au bout duquel elles reviennent à la même place dans le ciel) et de la fameuse constante appelée C dans l'exercice précédent. Pour calculer C, il faut connaître la distance au soleil d'au moins une des planètes du système solaire.

<u>5 -Problèmes de transit (8 pts)</u>

51 - $D^3/P^2 = K$ donc $D^3 = K P^2$. Oui, c'est facile, surtout si vous avez fait l'exercice précédent !

52 - En prenant comme référence l'unité astronomique (c'est dit dans le texte) je considère que la distance Terre-Soleil est de 1. Je peux donc calculer K puisque je connais la période de la Terre, c'est-à-dire le temps qu'elle met pour tourner autour du soleil: un an (hé oui) donc 365 jours (ont pourra oublier les 0,25 qui nous donnent les années bissextiles). Je peut alors calculer K: $K= D^3/P^2 = 1^3/365^2$ donc $K = 7,5 \times 10^{-6}$.

Dès lors, pour Mercure, il vient $D^3 = K P^2 = 7,5 \times 10^{-6} \times 88^2 = 5,8 \times 10^{-2}$. Avec la touche «racine cubique», il vient D = 0,39. Mercure est éloignée du soleil de 0,39 unités astronomiques, donc de 0,39 x la distance Soleil-Terre. En procédant de même, on remplit le tableau suivant:

planète	Mercure	Vénus	Mars	Jupiter	Saturne	Uranus	Neptune
période	88	225	687	4330	10756	30687	59790
D^3	0,058	0,38	3,54	141	868	7068	26833
D	0,39	0,72	1,52	5,2	9,5	19,2	29,9

53 - Les meilleures conditions pour réaliser la mesure décrite se trouvent facilement en regardant le schéma. Premier indice: ces conditions ne peuvent se réaliser que sur Terre (c'est là que l'on fait la mesure, non ?). Donc en regardant la Terre, on s'aperçoit que la différence de position de Venus sur le Soleil est liée à la différence entre les lignes de visées passant par Venus et partant de la Terre. Dès lors, on comprend aisément que pour que l'écart, vu projeté sur le soleil, soit le plus grand possible, il faut que ces lignes de visée soient le plus différentes possible : Il est donc nécessaire d'observer le transit de Vénus depuis <u>deux points les plus éloignés possible sur Terre</u> (A l'époque, cela nécessitait des voyages lointains qui pouvaient provoquer des aventures hautes en couleurs, voir par exemple ce qui est arrivé à l'astronome <u>Guillaume le Gentil</u>).

<u>6 -E pur si muove ! (5 pts)</u>

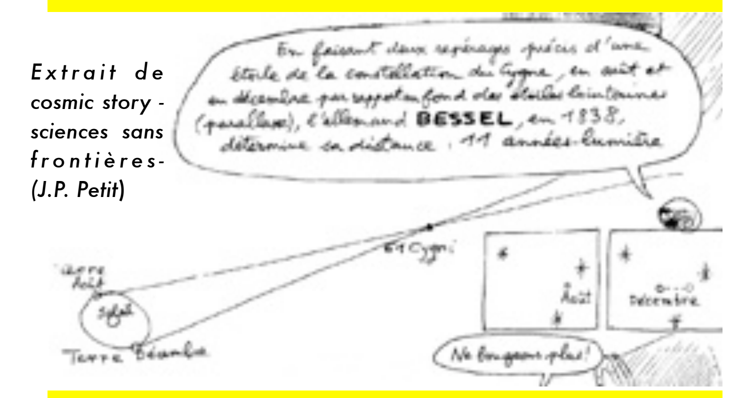
Malgré les meilleures observations, impossible de distinguer un changement dans la position d'une étoile par rapport aux autres au cours d'une année.

61 - L'argument d'Aristote vous est résumé par Galilée dans la BD: si l'on lâche un objet depuis un autre en mouvement, il ne devrait pas suivre ce mouvement. Cette idée est intuitive, mais fausse. Vous avez sans doute déjà lancé une balle, ou un autre objet, tout en roulant en vélo, par exemple: difficile de la rattraper, car elle vous semble rester «en arrière»! Mais, en fait, tout comme Aristote, vous oubliez une notion importante: la résistance de l'air change tout, votre balle y étant plus sensible que votre vélo!.

Refaites l'expérience en bus: lorsque le bus roule à vitesse constante, laissez tomber un objet: celui ci tombe bien «droit», et pas vers l'arrière du bus, qui pourtant se déplace! Aristote (et les jésuites) se trompait donc sur ce point. Le mouvement de la Terre n'est donc pas détectable, car tout ce qui est lié (par la pesanteur) à la Terre est entraîné par ce mouvement, qui est donc imperceptible *.

Il y a une autre erreur d'Aristote, plus difficile à voir, qui est de croire que pour que la Terre se déplace, il faut constamment que quelque chose la «pousse» et la conclusion qu'il en tire... Mais là s'ouvre le domaine de votre professeur de physique, qui se fera un plaisir (j'espère) de vous expliquer les mystères de trucs comme «l'inertie» ou la chute des corps.... **

62 - Tycho n'ai jamais pu détecter le mouvement d'une étoile par rapport aux autre an cours de l'année à cause de la distance qui nous sépare des étoiles, qui est bien plus grande que tout ce qu'il pouvait imaginer à l'époque ! (C'est un peu comme si, en fermant un oeil et puis l'autre, vous espériez voir la Lune se déplacer par rapport aux étoiles situées en arrière-plan : cela n'est visible qu'avec un objet proche de vos yeux.Le mouvement que cherchait à mettre en évidence Tycho ne sera détecté qu'en 1838:



Extrait de cosmic story - sciences sans frontières- (J.P. Petit)

63 - Tycho part d'une hypothèse: la Terre est mobile autour du soleil. Il en tire une conclusion logique: dans ce cas, il devrait observer un changement de position de certaines étoiles au cours de l'année, à cause d'un effet de «perspective». Il ne peut observer cet effet, et en déduit donc que la Terre est immobile. Il construit ensuite son modèle du système solaire à partir de ses résultats expérimentaux et de ses connaissances. Jusque-là, il suit exactement un raisonnement scientifique tout a fait correct. On peut en déduire deux choses:

- un raisonnement correct ne conduit pas automatiquement à la vérité (hé oui, malgré ce que l'on vous raconte sur les fiches de TP, et en math...)
- il faut envisager toutes les interprétations d'une observation: Tycho ne détectant pas d'effet de perspective, il aurait pu aussi considérer l'hypothèse explicative selon laquelle les étoiles sont bien plus éloignées que tout ce que l'on pensait à son époque. Cela lui est apparu trop «fantastique». En sciences, les hypothèses les plus «raisonnables» ne sont donc pas toujours les meilleures...

** On peut «voir» tourner la Terre grâce à une expérience que vous pouvez refaire si vous avez du temps, un haut plafond, du fil et une boule de pétanque: parlez donc à votre prof de physique du «pendule de Foucault» (non, pas Jean Pierre), qui peut constituer un remarquable sujet de travail personnel pour un groupe de TP...*

*** Une petite explication à ce sujet vous attend dans les documents complémentaires.*

<u>7 - Principe de précaution (3 pts)</u>

71 - Il est très clair qu'Osiander considère les idées de Copernic comme fausses, mais utiles pour faire des calculs («*si elles permettent des calculs en accord avec les observations cela suffit.»*). S'il agit de cette façon, c'est pour se protéger des réactions possibles de l'église: souvenez-vous (vous avez étudié l'inquisition... je sais, c'est loin) mais si les livres d'Osiander étaient «mis à l'index» (c'est à dire interdits) par l'église, il n'avait plus qu'à fermer boutique...

De plus, il est aussi possible qu'à titre personnel Osiander ne croie pas une minute que la Terre puisse tourner autour du soleil. Il

fait alors part, dans cette préface de son scepticisme (oui, un mot nouveau, cherchez-le dans le dictionnaire si vous ne le connaissez pas...)

72 - Contrairement à Osiander, Copernic pense qu'il décrit la réalité. Cela se voit, car:

- il a publié (sous le nom de son étudiant, on ne sait jamais *) un résumé pour faire connaître largement ses idées par «tous le monde (enfin, les rares personnes qui savaient lire...). S'il avait pensé que ses idées ne servaient que pour les calculs, cela n'aurait servi à rien.
- il se «couvre» dans son livre en invoquant l'autorité de philosophes grecs reconnus. S'il ne pensait pas que ses idées décrivaient la réalité, cette précaution aurait été inutile.
- Enfin, il évite soigneusement de publier son livre pendant 40 ans, redoutant d'avoir à affronter l'inquisition et d'être condamné (après procès et torture, cela va de soi) à finir en barbecue.

Ces précautions montrent bien que pour Copernic, la Terre mobile autour du soleil n'est pas un artifice (une fiction) de calcul, mais bien une réalité dont il revendique la découverte.

<u>8 -La famille Herschel (4 pts)</u>

81 - Pour expliquer l'observation d'Herschel, on a la choix entre deux hypothèses: soit ce sont bien toutes les étoiles qui bougent, soit c'est «nous» qui bougeons. Les hypothèses possibles sont donc les suivantes:

- les étoiles s'écartent réellement d'un objet invisible dans le ciel (peu probable)
- le mouvement de la Terre créé l'illusion de se mouvement (lorsque l'on se rapproche de ses étoiles, elles semblent s'écarter, comme on le voit en accéléré dans les films de science-fiction). Le problème, c'est que comme la Terre a un mouvement grosso modo circulaire, si les étoiles se rapprochaient la moitié de l'année, elles s'éloigneraient l'autre, ce qui n'est pas le cas. Cette hypothèse est donc à rejeter.
- C'est le système solaire tout entier qui se déplace vers ces étoiles, en emmenant la Terre avec lui (c'est l'hypothèse correcte).

82 - Pour construire sa représentation, Herschel s'est basé sur une hypothèse qui, en 1785, pouvait sembler logique: «*il suppose que toutes les étoiles brillent avec la même intensité, et que leur distance dépend donc seulement de leur éloignement*». Il croit donc que toutes les étoiles émettent la même quantité de lumière: les moins brillantes sont donc les plus éloignées. Malheureusement, ce n'est pas si simple: il existe des étoiles de toutes tailles et de toute luminosité. Une grosse étoile, vue de loin, paraît avoir le même éclat qu'une toute petite située plus près. Herschel aurait pu se douter de cette différence, car, par exemple, les étoiles n'ont pas toutes de la même couleur (regardez le ciel, par une nuit sans lune ni lumière: vous verrez des étoiles blanches, jaunes, rouges...). A son époque, toutefois, il était obligé de faire cette hypothèse (et d'espérer que les différences de luminosité entre étoiles étaient minimes), car personne ne connaissait une distance d'étoile. Malheureusement, c'est là qu'il se trompait: les étoiles ne sont pas égales entre elles... La représentation qu'il a construite ne pouvait donc être exacte (mais c'était une idée ingénieuse).

<u>9 -Cosmic connection (2 pts)</u>

Le message (l'émission de télévision) est parti de la Terre le 30 septembre 2006. A quelle vitesse voyagent les ondes utilisées par la télévision ? A la vitesse de la lumière (*je vous vois déjà hurlant en brandissant vos petits poings crispés: «comment on le sait ? C'est marqué ou dans l'exo, hein ?» et m'affublant de quantité de noms d'oiseaux exotiques.... On se calme! Vous êtes au lycée! C'est fini les solutions fournies toutes cuites dans les énoncés des exos! Vous devez apprendre à rechercher par vous même les informations manquantes dont vous avez besoin! Vous croyez quoi ? C'est un manuel de Sciences, pas de littérature!*)

Après cette salutaire mise au point, reprenons: l'étoile Gamma Cephei b est située à 45 années lumières du soleil. Les Ondes émises par l'antenne toulousaine vont donc mettre... 45 ans à faire le voyage! Les éventuels habitants des planètes autour de cette étoile recevront peut être nos émissions culturelles (hum!) sur leurs éventuels (re-hum!) postes de TV en 2006+45= 2051... (Ils ont donc tout le temps de faire chauffer le pop-corn pour la soirée TV mémorable qui se prépare).

<u>10 - Les tables et la loi (4 pts)</u>

10-1 Les prévisions de Ptolémée étaient basées sur les idées de Ptolémée, qui croyait que les planètes avaient des orbites circulaires et centrées sur la Terre*. Comme les orbites des planètes ne sont pas centrées sur la Terre et ne sont pas non plus des cercles (bien qu'en étant très proche), une erreur, au départ minime, s'amplifie avec le temps (à chaque orbite d'une planète, la petite erreur sur sa position s'accumule). Cette lente accumulation de petites erreurs aboutit à des prévisions de moins en moins exactes au fur et à mesure que les siècles s'écoulent.

10-2 Les tables de Copernic n'étaient pas meilleures que celles de Ptolémée, car lui aussi faisait l'erreur de croire que les orbites des planètes étaient des cercles. La faible différence entre une orbite circulaire et l'ellipse réelle créait donc, comme chez Ptolémée, une petite erreur qui s'accumulait lentement.

* *Centrer toutes les orbites autour de la Terre créait aussi d'énormes erreurs, mais Ptolémée savait qu'il y avait quelque chose qui ne tournait pas rond (c'est le cas de le dire): pour «sauver» les phénomènes observés, il avait rajouté aux orbites circulaires tout un tas d'orbites secondaires, tertiaires, parfois décentrées, qui aboutirent à un système très compliqué dont les erreurs n'étaient visibles que sur de longues périodes de temps (supérieures à la durée de vie d' l'astronome...).*

<u>11 - Décrocher la Lune (4 pts)</u>

11-1 Sur la photographie, on distingue des cristaux diversement colorés. Venant de la Lune, cette roche ne peut pas être sédimentaire (car il n'y a pas de sédimentation sur la Lune) donc c'est une roche volcanique (d'après vos connaissances de quatrième). Les cristaux ont eu le temps de grandir, donc on pourrait penser que le refroidissement du magma qui a donné naissance à cette roche a dû être relativement lent. Toutefois, le grossissement de la photo (x 100) vous indique que les cristaux visibles sont tout de même microscopiques : on a donc bien une roche volcanique à cristaux microscopiques, donc à refroidissement rapide (hé oui, ne pas oublier le grossissement - c'est pour cela que la légende d'un document est primordiale). La surface lunaire est donc formée d'une espèce de basalte, seule roche que vous connaissez correspondante à cette définition.

11-2 En observant attentivement la photographie vous constaterez que tous les cristaux visibles sont étrangement déformés : leurs contours sont polis, arrondis, comme usés.... En fait, certains sont presque sphériques... Cela signifie simplement qu'elles ont commencé à fondre, ce qui prouve la forte température à laquelle la météorite a été exposée en traversant rapidement notre atmosphère..

<u>12 - Les imposteurs (4 pts)</u>

Les arguments contre l'astrologie ne manquent pas:

- Au niveau pratique, on ne voit pas quelle influence la position des planètes pourrait avoir. Si elles agissent par une mystérieuse «force» inconnue liée à leur masse, alors des objets plus proches (une montagne, votre voisin...) devraient avoir plus d'influence que Mars ou Saturne.
- Au niveau philosophique (et physique), on ne peut prédire notre avenir, car il n'est pas «précalculé»: notre futur se construit à chaque instant en fonction de nos actes, des lois de la physique et aussi d'une part de «chance» ou de hasard.

Rules, Brittania

It is the beginning of history, not the end. In more than one respect, exploring the Solar System and homesteading other worlds constitutes the beginning, much more than the end, of history.

C'est le début de l'Histoire, pas la fin. À plus d'un égard, explorer le système solaire et coloniser d'autres mondes constitue le début, beaucoup plus que la fin, de l'Histoire.



La Terre, une planète-océan

L'eau, l'air, la vie.

La planète Terre se caractérise par l'importance prise par l'eau liquide à sa surface: vue depuis l'orbite au dessus du Pacifique, on pourrait croire que notre planète est entièrement recouverte d'eau. D'autres planètes et satellites du système solaire peuvent abriter de l'eau liquide, mais pas en aussi grande quantité.

Planète ou satellite	Terre	Mars	Europe (satellite de Jupiter)	Encelade (satellite de Saturne)
Localisation de l'eau liquide	Surface Atmosphère (pluies)	Dans le sous-sol, surface dans le passé *(possible actuellement -1-)*	Profondeurs (sous une croûte de glace de plusieurs Km)	
Pourquoi l'eau est-elle liquide ?	Température et pression à la surface		Pression de la croûte glacée, chaleur interne liée la rotation autour d'une planète géante.	

Toujours en orbite, nous pouvons voir se détacher sur le noir de l'espace une mince pellicule bleutée: l'atmosphère terrestre. Ici aussi, bien d'autres corps du système solaire possèdent une atmosphère (voit tableau ci-dessous), mais celle de la Terre présente quelques particularités:

Planète ou satellite	Vénus	Terre	Mars	Titan
Composition de l'atmosphère (Di-Azote: N_2, Méthane: CH_4)	96 % CO_2 3,5 % N_2	21 % O_2 79 % N_2	95 % CO_2 2,7 % N_2	80 % N_2 3 % CH_4
Pression à la surface	90	1	0,006	1,6
gamme de température à la surface	de 450°C à 500 ° C	de - 50 à + 50 °C	de - 140°C à + 20 ° C	- 180°C
Distance au soleil (millions de km)	108	150	228	1427
Masse (Terre = 1)	0,8	1	0,11	0,02

- Elle ne contient quasiment pas de CO_2
- Elle est la seule à contenir du dioxygène en quantité appréciable.

La planète Terre possède aussi une autre particularité: vous! Vous faites en effet partie des millions d'espèces d'êtres vivants qui peuplent cette planète, et semblent être absents des autres mondes du système solaire. Peut-on relier ces particularités les unes aux autres ? Il semble bien que oui...

Etudier les atmosphères planétaires

Dans le système solaire

Les premiers instruments d'optique ont permis de découvrir rapidement les mondes pourvus d'une atmosphère, où des nuages sont visibles, et les autres, à la surface nue.

Pour avoir une idée de l'épaisseur et de la composition de ces atmosphères, il a fallu attendre que soit mise au point l'analyse de la lumière renvoyée ou absorbée par ces atmosphères (il s'agit des techniques de spectroscopie, que vous allez étudier en physique...). Pratiquement, on peut décomposer la lumière d'une planète pour rechercher la trace de différents gaz présents dans on atmosphère. Il est aussi possible de prévoir le moment où, passant devant une étoile brillante, il va être possible de suivre l'affaiblissement de la lumière de l'étoile lorsqu'elle traverse «de profil» les couches de l'atmosphère de la planète.

La mise au point des sondes spatiales a permis de mesurer *in situ**, de façon précise, la composition des atmosphères des principaux corps du système solaire. De plus, sur Terre, il est aussi possible de reconstituer un mélange de gaz et de comparer ses propriétés à celles observées à distance, afin d'affiner la connaissance des atmosphères lointaines.

Dans d'autres systèmes

Les instruments actuels permettent tout juste de voir directement les premières planètes d'autres systèmes. Un premier spectre d'exoplanète a été directement obtenu le 10 janvier 2010 par l'équipe de l'astronome M. Janson. Son équipe a étudié une planète géante tournant autour de l'étoile HR 8799. Il a utilisé le VLT: 4 télescopes de 8m de diamètre travaillant ensemble, ainsi qu'un instrument de détection spécial.

Dans les prochaines années, de nouveaux détecteurs et des instruments encore plus imposants permettront d'obtenir des indices de la composition de l'atmosphère de planètes lointaines, qu'elles soient géantes ou telluriques. L'histoire ne fait que commencer...

**In situ = sur place, en latin; hé oui, vous avez encore une fois enrichi votre vocabulaire...*

Bibliographie

Le système solaire revisité sous la direction de J Lilenstein eyrolles 2006
La vie extraterrestre - site web de l'auteur

La masse et la position de la Terre expliquent en partie les conditions qui y règnent.

Les photographies des sondes spatiales montrent bien la pellicule de gaz constituant l'atmosphère qui entoure la Terre.

Comme vous le savez depuis la quatrième, l'air a une masse. Comme tout corps massif, il est donc attiré par la Terre (comme montré par Newton), ce qui l'empêche de se disperser dans l'espace. Une planète suffisamment massive peut donc retenir une atmosphère plusieurs milliards d'années. Un coup d'oeil dans le système solaire montre qu'une planète comme Mars est tout juste capable de garder une atmosphère. On peut donc logiquement proposer que pour conserver une atmosphère, une planète tellurique doit posséder une masse supérieure à environ 0,5 fois celle de la Terre. Comme vous êtes observateurs, vous n'allez pas rater une occasion de me contredire: «comment se fait-il qu'avec une masse de seulement 2% de celle de la Terre, Titan possède une atmosphère ?». C'est qu'il nous faut tenir compte d'un autre facteur important, la température (1) de cette atmosphère.

Le tableau suivant nous permet de découvrir comment la température des planètes évolue en fonction de leur distance au soleil. Il montre une température de surface «typique» sans atmosphère (calculée ou, pour Mercure, mesurée) puis avec (mesurée) pour les 4 planètes telluriques.

Planète	Mercure	Venus	Terre	Mars
Distance au soleil (x 10^6 km)	58	108	150	228
Température de surface sans atmosphère	180 °C	40 °C	- 18°C	- 70°C
Température de surface réelle (avec atmosphère)	180 °C (pas d'atmosphère)	460 °C	15 °C	- 60°C

On constate facilement que:
- Si l'on néglige la présence d'une atmosphère, plus la planète est loin du soleil et plus elle est froide (2)
- La présence d'une atmosphère tend à réchauffer, parfois très fortement (3) une surface planétaire.

Comme nous avons vu par ailleurs que posséder une atmosphère nécessite une planète d'une certaine masse, on peut en conclure que les conditions physiques (gamme de température et de pression) qui règnent sur la Terre sont liées à sa distance au soleil et à sa masse. A leur tour, ces conditions permettent une particularité terrestre: l'existence de grande quantité d'eau sous ses trois formes (liquide, solide, et gazeuse) (4)

1 - On utilise une valeur moyenne qui ne veut pas dire grand-chose pour une planète (le température moyenne de la Terre est de, mais les températures réelles s'échelonnent entre - 50 et + 50°C...) mais qui permet de les comparer entre elles.

2 - Ce qui est facile à comprendre (vous avez peut-être même fait un TP là dessus): plus on s'éloigne de la source de chaleur, moins on reçoit de chaleur. Pour une même unité de surface, la diminution de la quantité d'énergie reçue dépend du carré de l'accroissement de la distance (si votre distance au soleil double, vous recevrez 2^2= 4 fois moins d'énergie par unité de surface, si elle triple, vous recevrez 3^2, soit 9 fois moins d'énergie sur la même surface...).

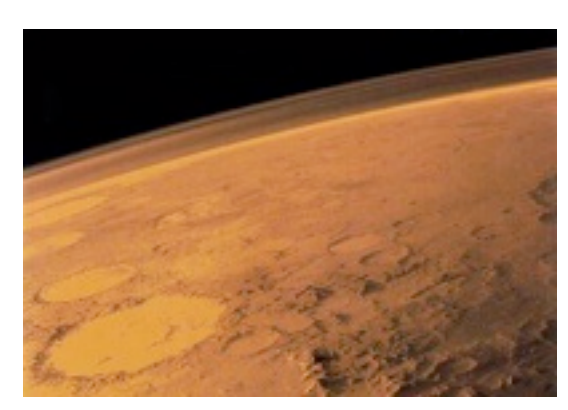
3 - C'est ce qui se passe pour la planète Vénus qui, deux fois plus éloignée du soleil que Mercure, est pourtant 2,5 fois plus chaude que Mercure, alors qu'elle devrait être 4 fois plus froide (si vous avez bien lu ce qui précède....)



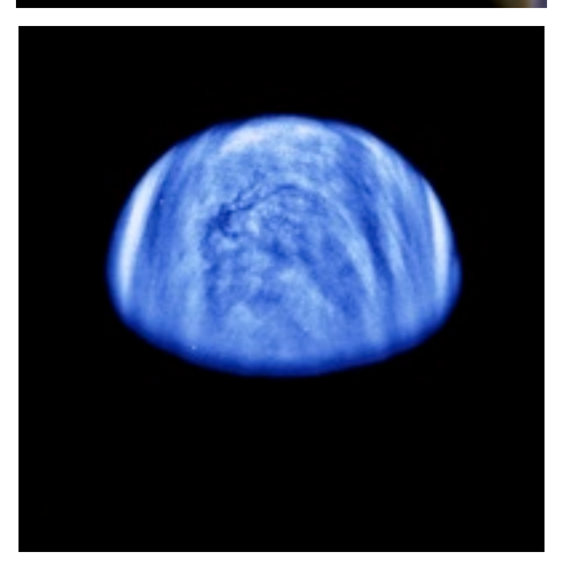
À RETENIR

La Terre est une planète tellurique appartenant au système solaire. La position et la masse de Terre permettent l'existence d'une atmosphère et d'eau liquide à sa surface.

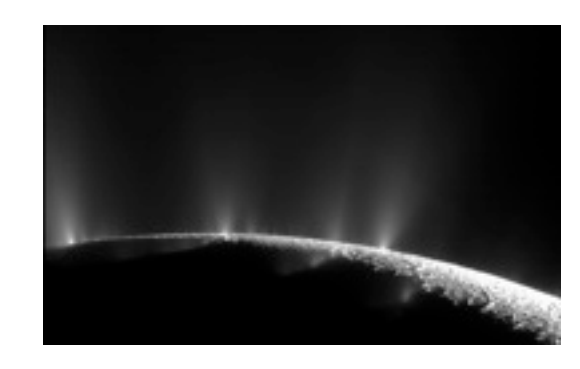
Les mêmes conditions peuvent exister sur d'autres planètes, autour d'autres étoiles, qui possèderaient des caractéristiques voisines. Toutefois, on ne peut être actuellement certain que des formes de vie y soient présentes.







De haut en bas: Mars, Titan, Vénus sont des planètes ou des satellites du système solaire pourvus d'une atmosphère. Photos NASA/JPL.



Le 21 novembre 2009, la sonde Cassini a repéré ces jets de vapeur d'eau s'échappant des profondeurs d'Encelade, satellite de Saturne. Ceci montre que de l'eau liquide peut exister dans les profondeurs de satellites situées pourtant à grande distance du soleil. Photos NASA/JPL.

L'atmosphère terrestre, une signature de la Vie.

Une pression qui permet l'existence de l'eau liquide

En 1638, les fontainiers (1) de la ville de Florence, en Italie, essayent de résoudre un vieux problème: ils n'arrivent pas à pomper de l'eau d'une profondeur supérieure à une dizaine de mètres. Pourtant, ils appliquent la méthode expliquée par le scientifique grec Aristote deux mille ans plus tôt: ils plongent un tuyau dans l'eau, puis une pompe chasse l'air du tuyau. Comme l'affirme Aristote, «la Nature a horreur du vide», alors l'eau monte dans le tuyau pour remplacer l'air et empêcher ce fameux vide «horrible» de se former. Mais malgré cette «horreur», dès que le tuyau dépasse dix mètres de long, impossible de pomper l'eau: elle commence à monter dans le tuyau, mais s'arrête toujours après dix mètres, sans arriver à la pompe. Les fontainiers font donc appel au scientifique le plus célèbre de l'époque, Galilée. Ce dernier étudie le phénomène, confirme que les idées d'Aristote ne sont pas satisfaisantes, mais ne trouve pas de meilleures explications, alors même qu'il a reçu, en 1630, une lettre du scientifique Jean-Baptiste Baliani (2) qui a découvert l'origine du phénomène, mais n'a pas réalisé d'expériences à ce sujet (3).

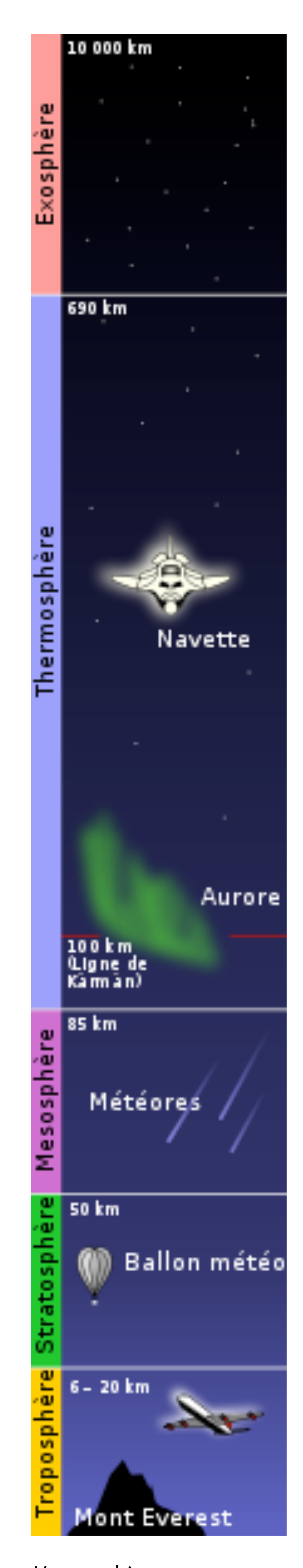
Mais Galilée correspond avec un autre physicien; Torriceli, qui va résoudre le problème. Il a l'idée, comme Baliani, que ce qui pousse l'eau dans le tuyau, c'est le poids de l'air situé au-dessus de l'eau. Lorsque l'air ne peut plus «pousser» l'eau, elle ne monte plus.



Manipuler un tube de plus de 10 m de long posant de légers problèmes d'encombrement, Torriceli a l'idée de remplacer l'eau par le liquide le plus «lourd» (4) qu'il puisse trouver: le mercure, 13,6 fois plus dense que l'eau, lui semble tout indiqué, car il peut alors utiliser un tuyau 13 fois moins long.
Prenant un tube d'un m de long, fermé à un bout, il le remplit de mercure puis le retourne sur une cuve remplie du même métal: il voit alors le mercure descendre dans le tube, se stabilisant à une hauteur de 76 cm. Au dessus, de la surface du mercure, il y a un espace vide: c'est «le» vide, celui qu'Aristote pensait ne pas pouvoir exister (*ci contre: représentation de la découverte de Torriceli, et schéma de l'expérience*).

Pour Torriceli, tout est clair; il existe une pression «atmosphérique» causée par le poids de l'air tout autour de nous, pression qui s'exerce sur tous les objets à la surface de la Terre, et qui correspond à celle exercée par 76 cm de mercure (ou 10 m d'eau environ). Torricelli publie sa découverte, qui devient ainsi connue d'un scientifique français, Blaise Pascal. Ce dernier reproduit et complète l'expérience de Torricelli (5): si c'est bien l'air qui appui sur le mercure, alors en s'élevant en altitude, comment cette pression va t'elle évoluer? Pascal étant malade, il confie ses instruments (mercure, cuve, tubes...un des premiers baromètres) à son beau frère F. Perrier, qui, habitant l'Auvergne, monte au sommet du Puy de Dôme et découvre alors qu'à 1000 m d'altitude, la colonne de mercure ne mesure plus que 68 cm.

Pascal en déduisit qu'au sommet de l'atmosphère, cette pression devait être égale à zéro: idée révolutionnaire, car elle signifiait que, quelque part au-dessus de nos têtes, l'atmosphère finissait et qu'au-delà il n'y avait que le vide. L'atmosphère devenait ainsi limitée, son épaisseur définie.



L'atmosphère terrestre se compose de différentes couches, mais l'essentiel de sa masse se situe dans les 20 premiers km constituants la Troposphère. Origine NASA.

---

1 - Les fontainiers ne fabriquent pas que des fontaines! Ce terme désigne en fait tous ceux qui, à l'époque, s'occupent du pompage et de la distribution de l'eau.

2 - voir exercice truc

3 - En sciences, une idée brillante ne suffit pas si elle ne peut pas s'appuyer sur une ou plusieurs expériences qui prouvent qu'elle est pertinente!

4 - Le terme exact est dense, vous l'avez deviné, non ?

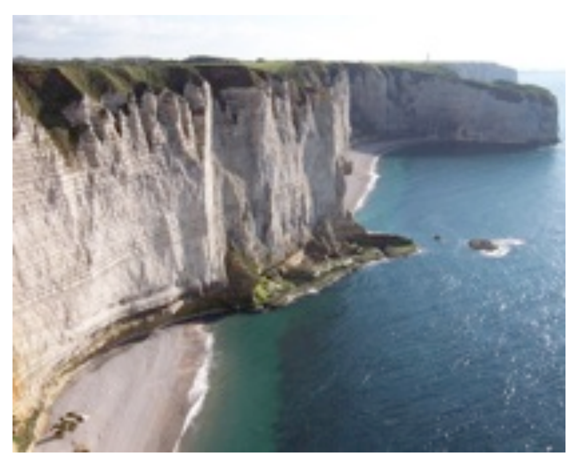
5 - Refaire les expériences des autres scientifiques pour les vérifier, les compléter et les interpréter est une des bases du travail du scientifique. Cela permet aussi de détecter les erreurs éventuelles, et de développer la réflexion. D'ailleurs, vous-même, vous avez au cours de votre scolarité refait pas mal d'expériences, non ? (et ce n'est pas fini...)

6 - Non seulement c'est possible, mais aussi probable: les conditions étaient même peut-être plus favorables à la vie sur Mars que sur la Terre. Mais ce n'est pas certain. Nous en saurons plus lorsque des recherches plus approfondies auront été accomplies sur Mars, par des sondes robots où, bien plus tard, par des hommes... Vous, peut-être ?

7 - Vers 80° de latitude N, la glace représente 80% de la masse des 50 premiers cm du sol.

Plusieurs expériences (1) montrent que c'est la pression de l'atmosphère terrestre qui est responsable de la large gamme de température (entre 0 et 100 °C, par définition - 2) pendant laquelle l'eau est à l'état liquide à la surface de notre planète. Ainsi, à une altitude de 3000 m, l'eau ne reste liquide qu'entre 0 et 87 °C (3).

Sur Mars, dans les plus profondes dépressions où la pression atmosphérique atteint 17 mbar (contre 1013 sur Terre), l'eau peut être liquide au plus chaud de l'année, l'été vers 14h, entre 0 et 10°C (4)

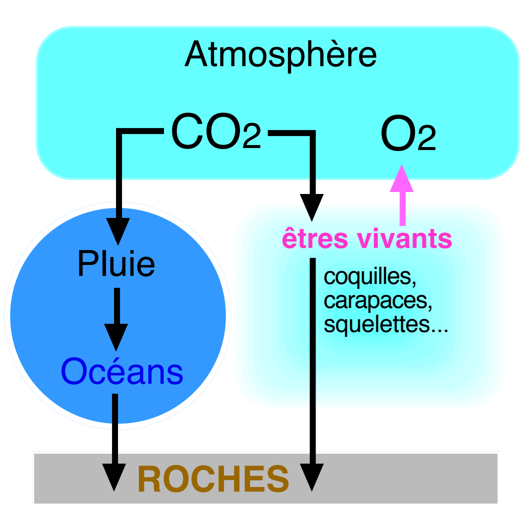


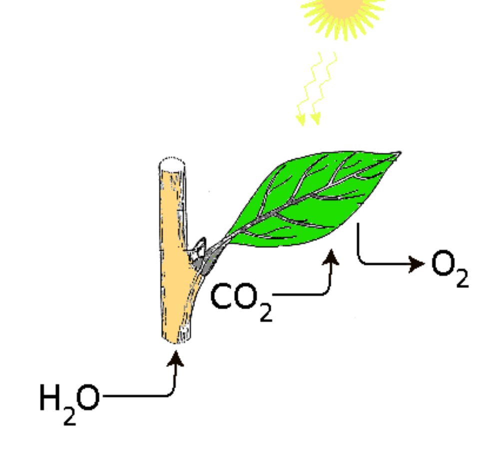
La photo ci-dessus montre où est le CO_2 originel: dans de magnifiques roches sédimentaires, dont ici la disposition en strate est bien visible. Cette falaise représente des milliers de tonnes de CO_2 retirés de l'atmosphère originelle au cours de l'histoire de la Terre. Photo Stefi123, Wikimedia)

Une composition fortement modifiée par les êtres vivants

On retrouve dans toutes les atmosphères des planètes telluriques du système solaire les mêmes éléments (cf tableau x): énormément de CO_2, un peu de N_2. On peut donc se demander, si ces planètes avaient au départ des atmosphères similaires (5), ce qu'est devenu le CO_2 sur Terre, et d'où vient le dioxygène.

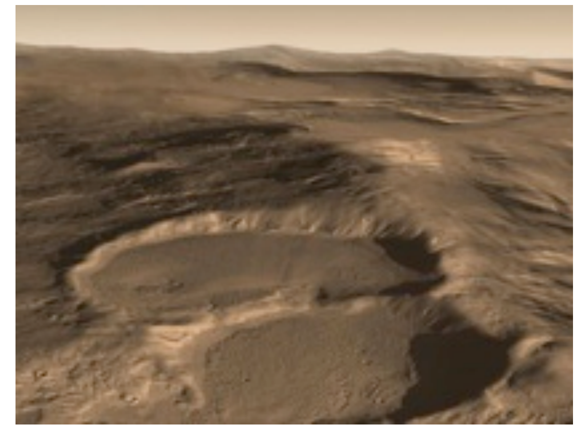
Vous connaissez la réponse. A l'origine, il est probable que l'atmosphère de la Terre ressemblait à celle des autres planètes telluriques: une atmosphère composée majoritairement de CO_2, très épaisse (entre 10 et 50 fois la pression actuelle). Vous avez étudié assez de physique au collège pour comprendre ce qui s'est passé (oui, ça sert à ça, entre autres, la physique): L'eau a dissout le CO_2 atmosphérique, ce dernier formant des roches sédimentaires, et les premiers êtres vivants ont utilisé ce CO_2 pour fabriquer leur matière, rejetant, comme les végétaux actuels, du dioxygène, un gaz autrefois inconnu, qui a fini par s'accumuler dans l'atmosphère (détails ci-contre). Les êtres vivants marins, en se fabriquant des coquilles et des carapaces calcaires, ont aussi participé à la destruction du CO_2 atmosphérique. Actuellement, il ne reste presque plus de CO_2 dans l'atmosphère (6). Nous examinerons en détail le procédé de fabrication de l'O_2 par les êtres vivants dans la suite du manuel.





Depuis la sixième, vous savez (ou devriez savoir) que les végétaux chlorophylliens fabriquent leur matière (donc, leurs molécules) en absorbant de l'eau et le CO_2 de l'atmosphère et en rejetant du dioxygène O_2, Le tout grâce à l'énergie de la lumière. Cette incorporation de CO_2 et cette libération d'O2, se poursuivant sans relâche pendant des milliards d'années depuis leur apparition chez des bactéries, ont eu des conséquences immenses sur la composition de l'atmosphère terrestre enrichie ainsi en O_2 et appauvrie en CO_2.

Comme les êtres vivants ont été à l'origine de la composition actuelle de l'atmosphère terrestre; ils ont évolué en même temps que cette dernière de façon à pouvoir l'utiliser. Les premières formes de vies (bactéries essentiellement) apparues à l'époque où il n'y avait pas de dioxygène, ont quasiment disparu, ou se trouvent cantonnées dans des environnements où ce gaz est absent (7)



Reconstitution de trois cratères dans l'est de la région Hellas, sur Mars. De grandes quantités de glace sont présentes dans le sous-sol à faible profondeur, et les conditions physiques permettent à de l'eau liquide d'exister à la surface quelques jours par an. Image NASA/JPL-Caltech/UTA/UA/MSSS/ESA/DLR/JPL Solar System Visualization Project

---

1 - Que vous avez dû faire en troisième, en physique... Oui, il est nécessaire de comprendre à la fois physique et biologie pour progresser. Les exercices 3 et 6 vous y aideront.

2 - C'est le célèbre Mr Celsius, inventeur du thermomètre qui a gardé son nom, qui a précisément choisi ces deux changements d'état de l'eau pour graduer son thermomètre. Ce que l'on dit moins, c'est qu'à l'époque, il l'avait gradué «à l'envers»: la glace fondait à 100°C et l'eau bouillait à 0°C! C'est le suédois Carl Linné (que vous connaissez peut être depuis la sixième, il a inventé le procédé utilisé pour classer toutes les espèces vivantes) qui a «remis à l'endroit» l'échelle de Celsius. L'histoire l'a oublié, pas vous. Voilà donc une info que vous permettra de briller dans les salons, tiens, et d'étonner votre prof, pas nécessairement au courant.

3 - C'est pour cela qu'il est difficile de cuisiner en haute altitude: il faut mn pour obtenir un oeuf dur (5 mn) en plaine) et des pâtes cuites en 7 min en plaine nécessiteront mn de cuisson à 3000 m...)

4 - Pas partout sur Mars! Comme vous connaissez la planète comme votre poche (et pour préciser si votre prof ne vous croit pas), ces lieux sont la région d'Hellas et les cratères Lyot, Lomonossov et Hooke (O. de Goursac, *visions de Mars, ed. de la martinière, 2004, p.96*).

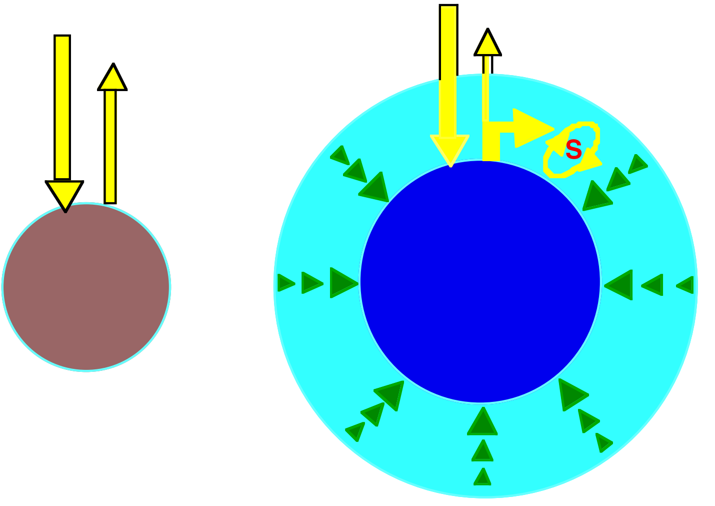
5 - Ce qui semble logique, vu que les atmosphères des deux planètes telluriques «encadrant» la Terre, Vénus et Mars, ont une composition similaire.

6 - 0,03 %... Le CO_2 est si rare qu'il limite fortement la croissance des plantes, aussi certaines sont elles cultivées, sous serre, dans un environnement enrichi en CO_2.

7 - Les profondeurs du sol, par exemple, où l'on peut trouver des bactéries du genre clostridium, responsables de maladies graves comme le tétanos ou le botulisme...

Une composition jouant un rôle dans la température de la surface terrestre

L'atmosphère terrestre permet de conserver une partie de la chaleur venue du soleil: c'est le célèbre effet de serre (1).



Effets d'une atmosphère: Sans atmosphère (à gauche), une planète renvoie une partie de l'énergie solaire qu'elle reçoit, et celle qu'elle absorbe augmente sa température de surface. Même si cette température le permettrai, elle ne peut maintenir d'eau liquide à sa surface, à cause de l'absence de pression atmosphérique. La présence d'une atmosphère (bleu ciel, à droite) génère une pression (flèches vertes) permettant à l'eau de se maintenir à l'état liquide en surface, et permet également de conserver une fraction supplémentaire de l'énergie solaire (S), réchauffant ainsi la surface de la planète.



Il se trouve que certains gaz retiennent davantage la chaleur que d'autres: les plus efficaces sont l'eau, le méthane et le CO_2. La température du sol de la Terre primitive était de plus de 80°C, et la destruction du CO_2 originel a donc grandement refroidi la Terre.

Sans atmosphère, la température de la Terre serait bien inférieure à celle que nous connaissons (2), et qui est voisine de 15°C en moyenne. L'atmosphère terrestre permet donc non seulement de conserver l'eau à la surface de la terre, mais permet aussi à cette dernière d'être présente sous ses trois états solide (glace), liquide et gazeux (vapeur).

Ci-contre : ce paysage terrestre (montagnes Rocheuses près de Dilton, Colorado, photo S. Bauer, USDA) nous montre l'eau sous plusieurs états, dont la coexistence est due à la présence de notre atmosphère, qui nous permet de disposer d'eau à l'état solide (neige), liquide (lac et nuages) mais aussi gazeuse (invisible, dans l'atmosphère -3)

1 - Vous avez peut-être réalisé un TP pour étudier cet effet. Son nom est très mal choisi, car il n'a pas grand-chose à voir avec le mécanisme qui permet de réchauffer une serre de verre exposée au rayonnement solaire !

2 - Dans de nombreux manuels et sites web, même très sérieux, vous pourrez trouver une valeur de - 18°C pour la température de la Terre sans atmosphère, cette dernière augmentant donc la température du sol de 33°C. Si l'on est scientifiquement rigoureux, le calcul utilisé nécessite tellement de simplifications qu'il ne correspond pas du tout à la réalité, aussi la seule affirmation scientifiquement correcte est de dire que l'on ignore la contribution précise de l'effet de serre à la température terrestre.

3 - Attention à une erreur commune: les nuages ne sont pas composés d'eau à l'état de gaz, mais de petites gouttelettes d'eau à l'état liquide, en suspension dans l'air !

Histoires parallèles

Vénus

L'eau de Vénus a complètement disparu de sa surface et de son atmosphère. Aucun dépôt de roches sédimentaires n'a pu se constituer, et la planète a conservé son atmosphère ancienne de CO_2 , qui entretient encore un puissant effet de serre surchauffant le sol. L'eau émise par les volcans de la planète reste dans l'atmosphère un moment, se combine à d'autres gaz pour créer des nuages d'acide sulfurique, et finit par s'échapper dans l'espace sous l'influence du rayonnement solaire.

Terre

Entre 4,4 et 4,2 milliards d'années, de grands volumes d'eau liquide existent à la surface de la Terre, qui possède une atmosphère épaisse de CO_2. Cette eau s'évapore et retombe en pluies acides, qui usent les roches, en dissolvant certains ions qui se retrouvent dans les océans où ils forment des minéraux qui précipitent, formant des roches calcaires. Ce processus retire du CO_2 de l'atmosphère, la planète se refroidit donc lentement, mais reste assez chaude pour que l'eau soit liquide à sa surface. Les premières formes de vie qui s'y développent rejettent du dioxygène, il faudra 2,5 milliards d'années pour que ce gaz en arrive à composer 20% de l'atmosphère, cette dernière ayant complètement perdu son CO_2, et ne conservant plus que du di-azote. Tout le CO_2 de l'atmosphère primitive se trouve... sous nos pieds! Ce sont les roches calcaires des sédiments continentaux et océaniques.

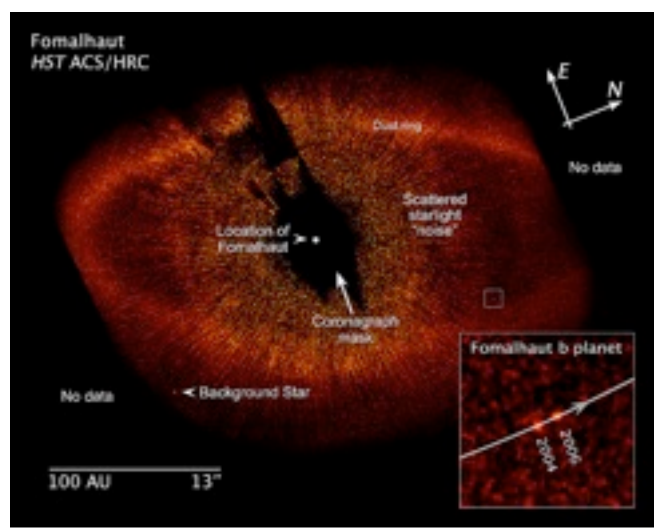
Mars

Mars a du connaître une atmosphère bien plus épaisse de CO_2, générant un effet de serre qui a permis à l'eau liquide d'exister sur la planète entre 3,8 et 2,3 milliards d'années. Comme sur Terre, des océans et des lacs se forment, mais l'eau de Mars est plus acide que celle de la Terre, et ce ne sont pas les mêmes roches sédimentaires qui se forment. Il est possible que la vie se soit aussi développée sur Mars à cette époque. La planète s'est ensuite refroidie, perdant lentement son atmosphère, et connaissant de temps à autre de grandes inondations d'eau salée, mais cette eau gela trop vite pour capter le CO_2 de l'atmosphère, qui subsiste aujourd'hui. Les anciens lacs et océans de Mars, gelés, sont toujours présents mêlés à son sol et son sous sol, en particulier dans la région Nord de la planète.

D'autres mondes sont possibles (1).

Rien ne s'oppose à ce que, parmi les 100 milliards d'étoiles de notre galaxie ainsi que dans les autres galaxies, les étoiles possèdent des planètes. C'est même une certitude puisque depuis 1995 (2), 726 exoplanètes ont été détectées, orbitant autour de plus de 600 étoiles (3), 21 d'entre elles possédant plusieurs planètes. Ces résultats sont provisoires, car l'amélioration des techniques et des instruments permet aux astronomes de détecter des planètes de plus en plus petites et à des distances toujours plus grandes du soleil (4). Lancé en 2009, le télescope spatial Kepler a permis de détecter les premières planètes de taille voisine de celle de la Terre. La moisson commence.

L'observation de 800 étoiles proches du Soleil montre qu'au minimum 5% des étoiles sont accompagnées de planètes. Notre seule galaxie contiendrait environ un milliard de planètes similaires (composition, masse, distance à l'étoile...) à la Terre.



Ci-contre : le 13 novembre 2008, une équipe d'astronomes utilisant le télescope spatial Hubble a détecté la première exoplanète directement visible, Fomalthaut b, qui orbite autour de l'étoile Fomalthaut, située à 25 AL de la Terre. Sur cette vue, l'étoile centrale est masquée afin de ne pas éblouir les détecteurs qui montrent alors un disque de poussière autour de l'étoile (Dust ring) ainsi que la planète (détail en bas à droite) dont le mouvement sur son orbite a été mis en évidence entre 2004 et 2006. Photo NASA-HST/HRC.

Une étude réalisée sur 300 étoiles de type solaire a établi qu'un minimum de 10 % des étoiles étudiées doit être accompagné de planètes telluriques, le chiffre le plus probable étant que 62 % des étoiles étudiées peuvent être accompagnées de planètes de type terrestre, où de l'eau pourrait demeurer à l'état liquide.

Les conditions qui existent sur Terre et qui ont abouti, dans le passé, au développement de la vie, peuvent donc exister sur de nombreuses autres planètes. Pour savoir si une planète a des chances de ressembler à la Terre, certains astronomes ont eu l'idée de calculer, pour chaque étoile, une zone d'habitabilité: c'est l'étendue de la région dans laquelle l'eau peut être présente, à la surface de la planète, à l'état liquide (5). Toutefois, même dans cette zone, la présence de formes de vie sur ces planètes n'est pas certaine, mais seulement très probable (6): comme les scientifiques connaissent encore mal les conditions dans lesquelles la vie est apparue sur Terre, il est difficile de savoir s'il s'agit d'un phénomène extrêmement exceptionnel ou, au contraire, d'un phénomène extrêmement probable, donc commun dans l'univers.

1 - Dès 1686, l'écrivain français Fontenelle avait publié un livre intitulé «Entretiens sur la pluralité des mondes habités», qui eut un grand succès. Plusieurs auteurs de l'époque mirent en scène des mondes imaginaires peuplés de créatures ressemblant furieusement aux habitants de la Terre. Par la suite, plusieurs chercheurs firent paraître des ouvrages dans lesquels la possibilité d'une vie extraterrestre était examinée de façon scientifique, en accord avec les connaissances de leur époque.

2 - La première exoplanète a été découverte en 1990 par A. Wollszczan, mais la recherche a vraiment débuté en 1995 avec la découverte par M. Mayor et D. Queloz d'une planète géante autour de l'étoile 51 Pegasi, située à 40 années lumières de la Terre.

3 - http://planetquest.jpl.nasa.gov/atlas/atlas_index.cfm

4 - Les techniques de détection d'une planète lointaine se basent sur la façon dont elle perturbe les mouvements ou la luminosité de son étoile. Plus une planète est massive et proche de son étoile et plus elle est facile à détecter! Les astronomes ont donc découvert tout d'abord de nombreux «Jupiters chauds», planètes joviennes situées près de leur étoile. Plus récemment, l'amélioration des techniques a permis de découvrir des planètes moins massives et plus éloignées de leur étoile. Parmi celles-ci, certaines sont des planètes telluriques, des «grosses Terres».

5 - Avec une pression égale à la pression atmosphérique terrestre moyenne. Dans le système solaire, la zone d'habitabilité commence entre Vénus et la Terre et se termine au voisinage de Mars.

6 - Pour éclairer la différence entre certain et très probable, un petit parallèle s'impose: imaginez qu'avant une évaluation, vous ne révisiez pas votre cours, que vous avez par ailleurs très distraitement écouté en classe: une mauvaise note est alors très probable, mais pas certaine (vous pouvez avoir de la chance, bénéficier du voisinage d'un ou d'une camarade travailleur et qui écris gros...). À votre place, je crois que j'essayerai d'éviter autant que possible un échec lorsqu'il est «très probable»....



L'astronome S. Guisard a photographié la Voie lactée depuis le sommet du volcan Chimborazo (5000 m). Ce site exceptionnel permet de voir nettement notre galaxie vue de l'intérieur, un long ruban constitué de la lumière de 100 milliards d'étoiles entrecoupée par de nombreux nuages de poussière. Dans notre seule galaxie, combien d'autres Terres et d'autres astronomes s'interrogeant sur leur ciel ?
Photo S. Guisard - avec l'aimable autorisation de l'auteur.

Alone in the dark ?

A la recherche d'une vie extraterrestre

Dès que le système solaire a été mieux connu, les espoirs d'y découvrir une vie extraterrestre semblable à la vie terrestre ont été déçus. Les mondes du système solaire sont apparus froids ou brûlants, sans air, sans eau... Mais en même temps que les sondes spatiales révélaient ces univers hostiles, les scientifiques découvraient, sur Terre, combien les formes de vie microscopiques peuvent être résistantes.
Ainsi, plusieurs types de bactéries terrestres seraient à même de survivre dans certains environnements extraterrestres. De plus, l'étude de l'histoire du système solaire a montré que certains mondes ont du connaître les mêmes conditions que la terre primitive, et donc que la vie, comme sur Terre a pu y apparaitre. Mars semble le meilleur candidat pour la recherche d'une vie fossile ou survivante, mais d'autres mondes du système solaire ont révélé l'existence,sous leur surface inhospitalière, de milieux pouvant convenir au développement de formes de vie. Ainsi, l'intérieur des satellites Europe ou Encelade contient probablement un océan recouvert de plusieurs km de glace.
Si les scientifiques ont abandonné l'idée de trouver une vie pluricellulaire dans le système solaire, tous les espoirs sont en revanche permis pour l'existence de la vie dans d'autres systèmes solaires: les planètes ne sont pas rares, et les conditions qu'a connue la Terre primitive ne semblent pas exceptionnelles. Dans les 10 à 20 prochaines années, des télescopes placés en orbite pourraient détecter, sur des planètes lointaines, des indices de la présence de vie comme, par exemple, du dioxygène atmosphérique, de l'eau, du méthane ou même de la chlorophylle....

Questions

1/Qu'est-ce qu'une planète ?
2/Qu'est ce qu'une atmosphère?
3/Ou trouve t'on de l'eau dans le système solaire ?
4/Quelle est la composition de l'atmosphère terrestre ?
5/Quels sont les effets d'une atmosphère sur la température de la surface d'une planète ?
6/D'où viens le dioxygène de l'air ?
7/ Qu'est-ce que la pression atmosphérique ?
8/ Où est passé de CO_2 de l'atmosphère primitive de la Terre ?
9/ Existe t'il d'autres systèmes solaires ?
10/ Pourquoi, dans notre système solaire, ne trouve t'on des océans qu'à la surface de la Terre ?

Colles

1/Les planètes Vénus et Terre ont à peu près la même taille. Comparer au moyen d'un graphique la composition de leurs atmosphères et leur pression atmosphérique.
2/Dans la plupart des films de science-fiction*, les vaisseaux spatiaux parcourent l'espace dans un tonnerre de réacteurs à plein régime. Pourquoi les réalisateurs font ils donc une erreur en sonorisant leurs batailles intersidérales ?
3/Pourquoi ne ressentons nous pas la pression de l'atmosphère au dessus de nous ?
4/ Peut-on dire que la Terre est exclusivement réchauffée par le rayonnement du soleil ? (ne rêvez pas, il ne s'agit pas de répondre par oui ou non, il vous faudra réfléchir, expliquer et argumenter votre réponse!)
5/ Sur les cartes de la Lune, certaines formations portent le nom de «mers» (mer de la tranquillité, mer des pluies....). Pourquoi cette dénomination pour des étendues de basaltes sans une goutte d'eau ?

Exercices

1 Histoire comique des états et empires... (3 pts)

En 1657, l'auteur français Savinien Cyrano de Bergerac (oui, il a vraiment existé!) écrit un livre, publié 5 ans plus tard, intitulé «L'autre monde - histoire comique des états et empires de la lune et du soleil». Dans ce livre, son héros atteint la Lune grâce à divers moyens farfelus, mais, quel que soit le moyen utilisé, L'auteur ne se préoccupe jamais de la façon dont il pourrait respirer: son héros effectue confortablement le voyage Terre-Lune le nez au vent (de la part de Cyrano, on ne pouvait s'attendre à moins). Pourquoi pouvait-on croire les voyages spatiaux possibles de cette manière ?

2 - Nobody knows (4 pts)

Dans son livre «Cosmos», l'astronome Carl Sagan raconte l'anecdote suivante: dans les années 1950, un astronome avait reçu une demande d'article d'un journal célèbre, qui lui avait demandé: «télégraphiez-nous un article de 500 mots répondant à la question suivante: la vie existe t'elle sur Mars ?. L'astronome, obéissant et précis, télégraphia 250 fois les mots suivants: «nobody knows - nobody knows-....» («*Personne ne le sait*»).

21 - Pourquoi l'astronome avait-il rédigé cette étonnante réponse.

22 - De nos jours, que répondriez-vous à cette même demande d'article ?

3 Le jeu de Magdebourg (4 pts)



En 1650, le scientifique et politicien Otto von Guericke, ayant eu connaissance des expériences de Torricelli et Pascal, met au point une pompe à air qui lui permet de faire le vide dans un volume donné. Avec un sens certain du spectacle, il organise des démonstrations impressionnantes: le 8 mai 1654, devant l'assemblée et l'empereur Ferdinand III, von Guericke assemble deux demi-sphères de 50 cm de diamètre par simple contact, puis, avec la pompe qu'il a inventée, il fait le vide à l'intérieur de la sphère métallique étanche ainsi formée.

Il utilise ensuite deux attelages, comprenant en tout 15 chevaux, pour essayer d'ouvrir la sphère en tirant dessus: celle-ci résiste. Lorsque von Guericke fait entrer l'air dans la sphère au moyen d'un robinet, les deux moitiés se séparent sans effort. Deux ans plus tard, il reproduit l'expérience dans la ville de Magdebourg (Allemagne), dont il est maire, avec deux attelages de 8 chevaux tirant de chaque côté de la sphère, sans succès (ci-dessous, document d'époque).



Cette expérience marquera les esprits, et reste connue sous le nom des «hémisphères de Magdebourg». Au début des années 1660, Von Guericke refera sa démonstration à Berlin, en utilisant deux attelages de 12 chevaux chacun.

31 - Pourquoi les hémisphères se comportent-ils comme s'ils étaient fortement collés ? Que montre l'expérience réalisée par Otto von Guericke ?

32 - Pourquoi les hémisphères se séparent-ils facilement une fois que l'on fait de nouveau entrer de l'air à l'intérieur ?

4 - La guerre des mondes (6 pts)

En 1877, l'astronome Italien Schiaparelli réalise une carte de la planète Mars. Il observe, après d'autre, l'existence de saisons, avec la fonte régulière des calottes polaires, et des changements d'aspects de la surface. Il croit voir aussi des formations rectilignes, qu'il nomme «canali», terme traduit par «canaux»... Nombreux sont alors les scientifiques qui popularisent l'idée d'une planète habitée par des êtres intelligents et bâtisseurs, dont l'astronome américain Percival Lowell qui, en 1905, couvre ses cartes de Mars d'un fin réseau de canaux se rejoignant dans des «oasis»... A la même époque (1898), l'auteur anglais Herbert Georges Wells publie son roman «la Guerre des mondes» (souvent adaptée au cinéma) où des martiens vindicatifs viennent envahir la Terre (et, en premier, l'Angleterre).

41- Présentez dans un tableau les points communs entre Mars et la Terre (oui, il vous faudra chercher dans le manuel, sur le net ou, pire encore, dans ces «choses» qu'on appelle des livres! Comparez donc la taille de ces planètes, mais aussi tous les éléments qui peuvent vous sembler proche... De l'initiative!)

42 - Au 19éme siécle, seule l'observation au télescope ou à la lunette astronomique* permettait d'étudier les planètes, leur composition restant encore difficile à étudier, car l'utilisation des spectres en astronomie ne date que de 1865,

année où Robert Bunsen** et Gustav Kirchhoff ont pour la première fois décomposé la lumière du soleil afin de découvrir sa composition chimique.`
Quelles sont les indices qui, à cette époque, ont pu faire croire que les planètes Mars, mais aussi Vénus, pouvaient être, comme la Terre, habitées ?

* Je ne saurais que trop vous conseiller, si vous le pouvez, de jeter un oeil à l'oculaire d'un télescope ou d'une petite lunette: c'est la seule façon de voir combien l'observation astronomique est difficile, et c'est aussi découvrir un merveilleux loisir, l'astronomie amateur.
* * Si vous avez de la chance, vous avez peut-être encore dans votre lycée des becs de gaz nommés justement «bec Bunsen» et inventés par ce même chercheur allemand. Ces becs permettent de réaliser facilement une grande quantité de travaux et d'expériences.

43 - Le livre de HG Wells «The War of the Worlds», débute ainsi:
"No one would have believed in the last years of the nineteenth century that this world was being watched keenly and closely by intelligences greater than man's and yet as mortal as his own."
Traduisez moi donc cette magnifique introduction en bon français bien de chez nous! Lorsque vous aurez fini, vous la traduirez aussi en Espagnol (ou en Allemand si vous avez étudié cette langue - hé oui, vous n'avez pas appris cela en vain!).

<u>5 Le précurseur (5 pts)</u>

En octobre 1630, le scientifique Jean-Baptiste Baliani écrit une lettre à Galilée dans laquelle il déclare : «*J'étais parvenu à l'idée suivant laquelle il n'y a pas de répugnance dans la nature des choses à ce que le vide se fasse.(...) Nous sommes au fond de l'immensité (de l'air) et ne ressentons ni son poids ni la compression qu'il exerce de tous côtés sur nous.*»

51 - Pourquoi ne ressentons-nous pas *la compression qu'il exerce de tous côtés sur nous*» l'air qui nous entoure ?

52 - Baliani, malgré cette lettre, n'est pas considéré comme le découvreur de la pression atmosphérique, il reste même méconnu. Selon vous, pour quelles raisons n'apparaît-il presque pas dans l'histoire de la découverte de l'atmosphère ?

<u>6 Al dente (4 pts)</u>

Des alpinistes gourmands voulant cuisiner en altitude ont rapidement du faire face à un problème: les pâtes, laissées dans l'eau bouillante le temps préconisé par leur fabriquant, n'arrivaient pas à cuire suffisamment. En mettant un thermomètre dans l'eau, surprise: l'eau bouillante n'était qu'à 94°C seulement.

61 - Comment expliquer cette surprenante observation ?

62 Dans cette situation, comment obtenir des pâtes cuites convenablement ?

<u>7 « Paix. Progrès et Droits de l'Homme »* (4 pts)</u>

Andrei Sakharov (1921-1989) fut un physicien exceptionnel et un homme d'une grande intégrité, n'hésitant pas à s'opposer au régime communiste de son pays, l'URSS, qu'il avait contribué à doter de la bombe H**. En 1975, il a obtenu le prix Nobel de la paix, mais, retenu prisonnier dans son pays, il n'a pu aller le chercher à Stockholm et c'est sa femme qui a lu son discours de réception, dont voici la fin:

«Plusieurs civilisations pourraient exister dans l'espace infini, parmi lesquelles des sociétés qui pourraient être plus sages et plus «performantes» que la nôtre. (...) Néanmoins, nous ne devrions pas minimiser nos efforts sacrés en ce monde, où comme de faibles lueurs dans l'obscurité, nous avons surgi pour un instant du néant de l'inconscience obscure à l'existence matérielle. Nous devons respecter les exigences de la raison et créer une vie qui soit digne de nous-mêmes et des buts que nous percevons à peine.»

Pourquoi n'est-il pas étonnant qu'un scientifique puisse croire à la possibilité de l'existence de civilisations extra-terrestres ?

* Titre du discours de Sakharov au comité Nobel
* * la bombe H est à la bombe atomique ce que la seconde est à la sixième. Compris ?

Après le cours...

Questions d'élèves

Le cinéphile

La pression de l'air, c'est comme la pression de l'eau qui écrase les sous-marins dans les films ?

Exactement, mais comme l'eau a une masse volumique supérieure à celle de l'air, la pression qu'elle exerce est plus élevée. En physique, vous avez peut être fait l'expérience qui consiste à chasser l'air d'un bidon en y faisant bouillir de l'eau: la vapeur chasse l'air, on ferme le bidon qui refroidit, la vapeur qu'il contient se condense et... le bidon s'écrase dans un grand «Klong!» comme un sous marin en perdition...

Le conspirationniste

Et les OVNIS, c'est pas les extraterrestres qui viennent nous voir ?

Personne ne sait. Ce que l'on appelle les OVNIs, c'est tout phénomène, dans le ciel, dont celui qui l'observe ignore l'origine. C'est vaste, et laisse beaucoup de place à de nombreuses erreurs, mais aussi à des phénomènes inconnus! A ce sujet, je laisse la parole à l'astronome Carl Sagan, qui déclarait dans sa série télévisée Cosmos (épisode 12) : «*Dans l'immensité du cosmos, il doit y avoir d'autres civilisations, beaucoup plus âgées et beaucoup plus avancées que la nôtre. Alors, ne devrions-nous pas avoir été visités ? Ne devrait-il pas y avoir à tout moment des vaisseaux étranges dans les cieux de la Terre ?*

Il n'y a là rien d'impossible, et nul ne serait plus heureux que moi si nous étions visités. Mais est-ce que ça s'est vraiment produit ? <u>Ce qui compte, ce n'est pas ce qui semble plausible, pas plus que ce en quoi nous aimerions croire, pas plus que ce qu'un ou deux témoins proclament, mais seulement ce qui est soutenu par des preuves solides, examinées avec rigueur et scepticisme.</u> Des affirmations extraordinaires nécessitent des preuves extraordinaires.»

L'astronome amateur

Mais on a pas trouvé des microbes alien, dans une météorite, il y a quelques années ?

En effet, différents éléments ont été identifiés dans une météorite d'origine martienne*, ALH84004, qui peuvent être d'une origine biologique. Malheureusement, cette météorite a séjourné plusieurs milliers d'années sur Terre avant d'être découverte, et ces éventuelles traces pourraient tout aussi bien, si elles étaient confirmées, être d'origine bien terrestre! Des Soupçons, des indices existent, mais rien de certain: N'oublions pas, comme Sagan: «*Des affirmations extraordinaires nécessitent des preuves extraordinaires*»...

* *Il n'y avait pas marqué «made in Mars» dessus! Cette origine a été déduite des gaz piégés dans la roche et dont la composition correspond à celle de l'atmosphère martienne.*

Corrections

Questions

1/ Une planète est un astre sphérique qui orbite autour d'une (ou plusieurs) étoile. Elle ne produit pas de lumière. *Oui, cette question a déjà été posée. Et alors? Saviez-vous, pour autant, y répondre ?*

2/ Une atmosphère est l'enveloppe gazeuse qui entoure la surface d'une planète.

3/Dans le système solaire, on trouve de l'eau sur Terre (ça, vous le savez!), sur Mars, à la surface ou à l'intérieur de presque tous les satellites (Europe, Ganymède, Callisto, Encelade,Titan, Miranda...) des planètes joviennes, dans les atmosphères des planètes joviennes, et dans les comètes qui peuplent les confins du système solaire. En fait, on trouve de l'eau quasiment partout dans le système solaire, à l'exception de Mercure, Vénus et des petits astéroïdes rocheux.

4/L'atmosphère terrestre se compose actuellement de 78% de diazote, 21 % de dioxygène, 1% d'un gaz qui ne régit pas chimiquement avec grand-chose, l'argon, et des traces d'autres gaz, dont le CO_2 (0,03%). La teneur en vapeur d'eau est, elle, extrêmement variable (les % ci-dessus ne sont donc valables que pour de l'air sec).

5/Une atmosphère augmente la température d'une planète en piégeant une partie, variable, du rayonnement solaire. Une atmosphère diminue aussi l'écart de température entre le jour et la nuit.

6/Le dioxygène de l'air provient de l'activité chimique de certains êtres vivants comme des bactéries ou des végétaux (vous en saurez plus dans la suite du manuel voir ici - truc). Ce gaz est donc une «signature», un «indice» de la présence de formes de vies.

7/ La pression atmosphérique est, comme son nom l'indique, la pression exercée par la masse des gaz de l'atmosphère, et qui s'exerce sur tous les corps plongés dan s cette atmosphère.

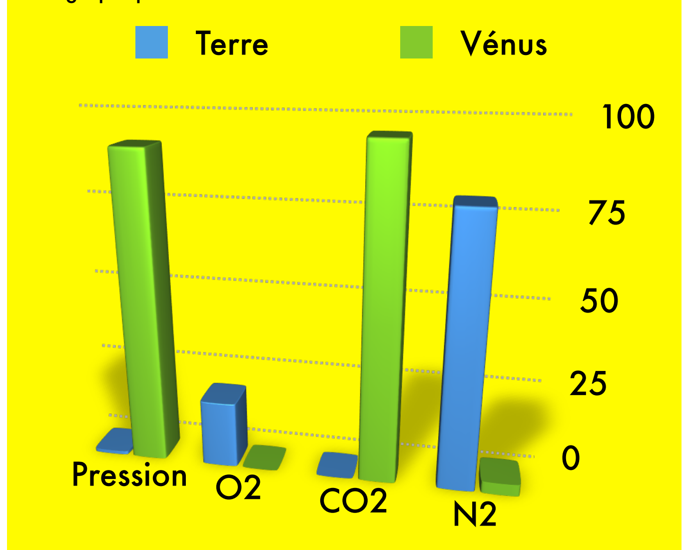
8/ Le CO_2 de l'atmosphère primitive de la Terre se retrouve piégé dans différentes roches, que ce soit des sédiments comme le calcaire où des roches comme le charbon ou le pétrole (voir détails truc)

9/ Il existe de très nombreux autres systèmes «solaires» (car ce n'est pas le soleil, bien entendu, l'étoile principale de ces systèmes!). Au 21 juin 2010, les astronomes ont détecté 462 planètes tournant autour d'autres étoiles, dont 393 font partie de systèmes planétaires. Des systèmes comprenant plusieurs planètes ont été détectées autour de 45 étoiles. Cette liste s'allonge tous les mois...

10/ On ne trouve des océans qu'à la surface de la Terre, car c'est le seul endroit où les gammes de température et de pression correspondent à l'état liquide de l'eau (vous avez étudié ces trois états en quatrième...). De l'eau liquide peut toutefois exister pendant de faibles durées dans certains sites martiens, à des dates précises correspondant à un maximum de température.

Colles

1/La seule difficulté est de choisir le type de graphique que l'on va utiliser. Ici, on doit comparer des valeurs précises, qui ne varient pas dans le temps: un histogramme s'impose alors (vous avez peut-être appris le nom «diagramme en bâtons», qui fait un peu bricolage, comme dénomination, non ?). Vous devez en plus mettre sur le même graphique des données différentes: des pourcentages et une pression. Heureusement, l'échelle peut être la même, puisque sur Vénus la pression est de 90 bars (ou hectopascals, selon votre goût pour l'unité de pression que vous avez apprise, ou que vous allez apprendre, ou que vous avez oublié d'apprendre, en physique...). Votre graphique devrait alors ressembler à celui-là :



Titre: comparaison des atmosphères de Vénus et de la Terre.
Unités: pression en hectopascals, proportions des différents gaz en %

2/ Les réalisateurs sonorisent leurs batailles intersidérales pour deux raisons principales:
- certains pensent vraiment que l'on peut entendre les bruits dans le vide de l'espace. C'est une erreur, car comme l'atmosphère terrestre n'est épaisse que de quelques dizaines de km, les sons ne se transmettent plus passé une certaine altitude. Comme le proclamait l'affiche du film «Alien»: dans l'espace, personne ne vous entendra crier...
- D'autres savent très bien que le son ne peut pas s'entendre dans le vide spatial, mais ils veulent faire un film spectaculaire, qui plaise, et pas un documentaire scientifique!

3/Nous ne ressentons pas la pression de l'atmosphère au dessus de nous, car cette pression s'exerce de «tous les côtés»: dès notre naissance, nous sommes, de partout «sous pression», que ce soit sur notre tête, sous notre main où à l'intérieur de notre corps (poumons, intestins... sont en communication avec l'air). Il en est de même sous l'eau:les êtres vivants qui peuplent les grandes profondeurs supportent de très fortes pressions, mais ces dernières s'exercent de tous les côtés, à la fois vers l'intérieur de l'animal et vers l'extérieur: ils ne la ressente donc pas (mais si ils sont remontés trop vite vers la surface, leur pression intérieure devient très supérieure à la pression extérieure et ils...explosent!).

4/ Dire que la Terre est exclusivement réchauffée par le rayonnement du soleil revient à affirmer que seule notre étoile réchauffe sa surface. Ceci n'est pas exact, car vous avez étudié en quatrième (je sais, c'est loin) le volcanisme, la tectonique des plaques, et donc vous savez qu'il existe sous vos pieds une source d'énergie qui libère une certaine quantité de chaleur dans le sol... Vous avez peut-être, à ce sujet, étudié les sources chaudes d'Islande ou des Pyrénées... Cette chaleur, d'origine interne, parvient à la surface, et c'est ainsi que notre planète, depuis sa formation, se refroidit lentement. Cette émission de chaleur interne contribue à réchauffer faiblement la surface de notre planète.

5/ La réponse est simple: les premiers astronomes ont observé les astres en se basant sur leur environnement, sur ce qu'ils connaissaient autour d'eux. Les étendues sombres (et plates, dans les premières lunettes astronomiques) de la Lune ont donc été prises pour de véritables mers et océans, et ont donc été baptisées ainsi. Par la suite, le nom est resté, même si les plaines de basalte ainsi nommées n'ont jamais connu la moindre goutte d'eau liquide...

🏛 *En sciences, il est commun d'interpréter les observations en fonction de ce que l'on connaît déjà, des événements «ordinaires», fréquents, et de ne faire appel qu'avec prudence à des événements ou des explications exceptionnelles. Ce principe porte un nom, c'est*

l'actualisme (utilisation des causes actuellement observables pour expliquer un phénomène). Dans le cas qui nous préoccupe, l'utilisation de ce principe a conduit les anciens astronomes à l'erreur: un principe n'est pas une loi, et doit donc, en science comme ailleurs, être appliqué avec raison et discernement, en se basant sur des observations rigoureuses et des expériences irréprochables. Hé oui, les Sciences ne sont pas simples... ce qui en fait tout l'intérêt!

Exercices

1 Histoire comique des états et empires... (3 pts)

En 1657, on pouvait parfaitement croire que croire les voyages spatiaux possibles de cette manière,

Il ne faut pas oublier, en effet, que l'on venait tout juste de découvrir que la Lune était un autre monde, comparable à la Terre (découverte réalisée par Galilée, en 1610). L'idée alors dominante était que l'air emplissait tout l'espace entre les mondes, et donc que l'atmosphère terrestre était d'une étendue, sinon infinie, du moins très grande. N'oubliez pas, en effet, que l'idée selon laquelle le vide n'existait pas était encore largement acceptée. À cette époque, les plus hauts sommets n'avaient pas été escaladés, et les difficultés de respiration liées à l'altitude, même si quelques hardis explorateurs les avaient déjà ressenties, n'étaient pas encore expliquées de façon satisfaisante. Bien que Torricelli et Pascal ait effectué leurs expériences quelques années auparavant, leurs conclusions n'étaient pas encore largement connues, ni acceptées. Il paraissait dès lors possible de naviguer facilement entre les mondes sans ressentir de problèmes liés à la respiration ou même à la... température!

🏛 Cyrano fit publier son livre après sa mort, pour se protéger de l'église (on est jamais trop prudent...). En effet, ses oeuvres contenaient des affirmations révolutionnaires, il y soutenait ouvertement les découvertes de Copernic, y tournait en ridicule certaines opinions religieuses et politiques, et y affirmait des idées qui avaient déjà, par le passé, conduit plus d'un philosophe sur le bûcher. Vous pouvez en juger vous même en lisant l'oeuvre complète ici, mais cet extrait vous montrera combien cet auteur fut clairvoyant: *« Quant à moi,(...), je crois que les planètes sont des mondes autour du Soleil, et que les étoiles fixes sont aussi des soleils qui ont des planètes autour d'eux; c'est-à-dire des mondes que nous ne voyons pas d'ici à cause de leur petitesse, et parce que leur lumière empruntée ne saurait venir jusqu'à nous.»* (histoire comique des états et empires du soleil et de la lune, chap. 2 1662).

2 - Nobody knows (4 pts)

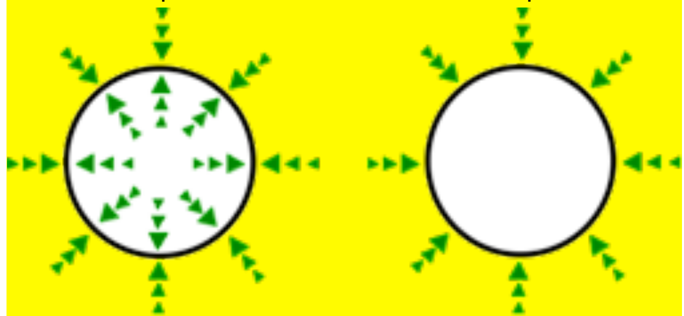
21 - L'astronome avait rédigé cette réponse car, en 1950, donc avant les débuts de l'exploration spatiale, personne de disposait d'arguments en faveur ou à l'encontre de l'existence d'une vie, microbienne ou non, sur Mars. La seule réponse scientifique à la question posée était donc celle donnée par l'astronome!

🏛 Il est tout à fait logique et légitime, en sciences, d'avouer son ignorance sur nombre de sujets pour lesquels on ne dispose pas de données suffisantes, ni d'expériences suffisantes. Il faut aussi être attentif à distinguer l'opinion d'un scientifique (parfois étayée par ses connaissances) de la connaissance scientifique elle-même...

22 - De nos jours, cette même demande pourrait bien recevoir...la même réponse! En effet, personne ne compte a présent sur l'existence de «martiens» pluricellulaires. So vous avez fait quelques recherches pour répondre, vous avez dû trouver trace de la mission Viking et de deux sondes qui ont recherché, en 1976, des traces de vie microbienne sur Mars. Elles ont obtenu des résultats étonnants qui ont été interprétés comme ne montrant pas de signes de vie (cette interprétation n'étant pas unanime). Par contre, vous avez du aussi trouver les résultats des dernières missions qui montrent que Mars a été, au début de son histoire, un monde comparable à la Terre, ou la vie a pu apparaître et, peut être, subsister sous une forme particulière, dans des environnements et des sites qui n'ont pas encore été étudiés. Pour ce qui en est d'une vie microbienne sur Mars, et jusqu'à d-ce que des échantillons soient rapatriés sur Terre pour étude, «nobody knows»...

3 Le jeu de Magdebourg (4 pts)

31 - Les hémisphères se comportent comme s'ils étaient fortement collés, car, comme ils sont vidés de leur air, aucune pression ne s'exerce plus de l'intérieur vers l'extérieur: l'intégralité de la pression atmosphérique s'exerce uniquement en direction de l'intérieur des sphères. Le schéma suivant décrit cette situation: à gauche, les pressions internes et externes sont égales, à droite, le vide créé dans la sphère fait disparaître cette pression, qui ne s'exerce plus que vers le centre de la sphère et maintient unis les deux hémisphères.



L'expérience réalisée par Otto Von Guericke montre l'existence et les effets de la pression atmosphérique.

32 - Les hémisphères se séparent facilement une fois que l'on fait de nouveau entrer de l'air à l'intérieur, car on rétablit ainsi la pression atmosphérique à l'intérieur de la sphère. Dès lors, rien ne retient plus ensemble les deux moitiés qui peuvent être facilement séparées

4 - La guerre des mondes (6 pts)

41- Un tableau des points communs entre Mars et la Terre devrait ressembler à cela:

Planète	Terre	Mars
Taille (diamètre)	12700 km	6700 km
Inclinaison sur l'orbite (présence de saisons)	23°	
Atmosphère	Oui	Oui
Eau	Oui, principalement liquide	Oui, principalement sous forme de glace
Durée du jour	24h	

42 -Les indices qui, au 19éme siècle, ont pu faire croire que les planètes Mars et Vénus pouvaient être habitées sont:
- leur taille voisine de celle de la Terre
- leur atmosphère, ressemblant superficiellement à l'atmosphère terrestre, et cachant leur surface
- leur proximité, ces deux planètes étant les plus proches de la Terre
- Ces deux planètes ressemblant, du moins en apparence, à notre planète, il paraissait donc logique de penser qu'elles étaient, comme cette dernière, habitées.

43 - «The War of the Worlds»,

«No one would have believed in the last years of the nineteenth century that this world was being watched keenly and closely by intelligences greater than man's and yet as mortal as his own.»

En français:

«Personne n'aurait pu croire, dans les dernières années du dix-neuvième siècle, que ce monde était observé de près, avec minutie, par des intelligences supérieures à celle de l'Homme et pourtant tout aussi mortelles.»

en Espagnol :

Nadie habría creído, en los años ultimos del siglo XIX, que este mundo estuviera atentamente espiado por las inteligencias mayores que el hombre pero tan mortales.

Si vous êtes un de ces bons élèves qui ont étudié l'allemand:
Niemand hätte in den letzten Jahren des neunzehnten Jahrhunderts geglaubt haben, dass diese Welt war zu scharf und beobachtete aufmerksam durch Intelligenzen größer als Menschen und doch so tödlich sind wie seine Selbst.

En occitan *:
Degun auriá pas cregut, dins los ans darrièrs del sègle dètz-e-nòu, que la Tèrra, la s'espiavan menimosament unas intelligéncias superioras a la de l'uman, mas aitant mortalas.

* *Oui, en occitan. Un peu de culture ne saurait faire de mal, même si on ne vous demandait pas cette traduction. Aurez-vous toutefois deviné de quelle région de France est originaire l'auteur de ce manuel?*

5 Le précurseur (5 pts)

51 - Nous ne ressentons pas «*la compression qu'exerce de tous côtés sur nous*» l'air qui nous entoure, car cette pression, justement parce que cette pression s'exerce **de tous les côtés**, donc dans toutes les directions, ce qui équilibre et égalise ces pressions: si vous prenez un crayon, et que vous poussez en même temps des deux côtés du crayon, même fortement, le crayon ne bouge pas. De la même façon, nous ne ressentons pas cette pression de l'air égale en tout sens (et lorsqu'il se produit une légère différence de pression, nous ressentons un courant d'air...)
52 - Baliani n'apparaît presque pas dans l'histoire de la découverte de l'atmosphère, car même s'il a eu l'intuition de l'existence de la pression atmosphérique, il n'a réalisé ou proposé aucune expérience pour vérifier ses idées, qui sont donc restées sans suite directe. Il n'a pas non plus expliqué de phénomène mystérieux au moyen de son intuition.

En sciences, prévoir ne suffit pas: il faut démontrer, vérifier, et intégrer les nouvelles idées dans le monde des observations, anciennes ou nouvelles, pour qu'elles prennent tous leur sens et soient vérifiables.

6 Al dente (4 pts)

Des alpinistes gourmands voulant cuisiner en altitude ont rapidement du faire face à un problème: les pâtes, laissées dans l'eau bouillante le temps préconisé par leur fabriquant, n'arrivaient pas à cuire suffisamment. En mettant un thermomètre dans l'eau, surprise: l'eau bouillante n'était qu'à 94°C seulement.
61 - En simplifiant un peu, ce qui «maintient» l'eau à l'état liquide, c'est l'air qui appuie sur la surface de l'eau, empêchant la majorité des molécules d'eau de «s'évader» dans l'air. Lorsque la pression de l'air diminue, les molécules d'eau s'évadent plus facilement: le température d'ébullition de l'eau diminue. Comme en altitude la quantité d'air au dessus de nous diminue, la pression chute, et la température d'ébullition de l'eau diminue, ce qui explique l'observation réalisée par les alpinistes.
62 Dans cette situation, pour obtenir des pâtes cuites convenablement il suffit de les laisser cuire.... plus longtemps! Le temps de contact plus long avec l'eau à 94°C compensera la température inférieure de cette dernière.

7 « Paix. Progrès et Droits de l'Homme »* (4 pts)

Il n'est pas étonnant qu'un scientifique puisse croire à la possibilité de l'existence de civilisations extra-terrestres, car plusieurs découvertes rendent cette éventualité possible:
- de nombreuses planètes différentes, organisées en systèmes variés, ont été détectées autour d'autres étoiles
- la vie est apparue sur Terre, à partir d'éléments qui existent partout dans l'univers. Il est donc possible que ce phénomène se reproduise, ou se soit reproduit, ailleurs, sur d'autres planètes.
- Sur notre planète, des êtres vivants (nous!) ont pu construire une civilisation, au point de s'interroger sur l'existence d'autres êtres vivants aux préoccupations similaires. Ce phénomène n'est peut-être pas limité à la Terre, du moins, rien ne semble l'indiquer.

Les observations et les connaissances scientifiques n'interdisent donc pas l'existence de civilisations extraterrestres dans l'univers. Toutefois, au vu des connaissances actuelles en astronomie et en physique, la distance entre les étoiles semble interdire toute communication entre ces éventuelles civilisations...

Attention toutefois: en sciences, l'opinion d'un scientifique, même éminent, ne fait pas la réalité. L'argument d'autorité ne devrait pas exister (dans un monde parfait, qui n'est pas le nôtre). Par contre, si cette opinion est liée à son activité scientifique, elle mérite, au moins, d'être examinée, surtout lorsqu'elle est soutenue par un ensemble de réflexions et d'informations qui, même sans êtres suffisants pour apporter une certitude scientifique, font de l'opinion exprimée une sérieuse possibilité.

Après le cours...

Questions d'élèves

L'écologiste

L'effet de serre, c'est le truc que la pollution augmente et qui fait monter la mer et mourir les ours polaires ?
Hum! Tu mélanges pas mal de choses, ce qui est compréhensible vu que de nombreux journalistes font les mêmes mélanges... L'effet de serre est seulement une accumulation de chaleur dans une atmosphère planétaire, ce qui permet de maintenir la surface d'une planète à une température plus stable et supérieure à celle qu'elle aurait sans atmosphère.
Si l'on associe souvent pollution et effet de serre, c'est parce que des journalistes, simplifiant trop des faits complexes, considèrent que les gaz qui favorisent l'effet de serre sont des polluants (ce qui est faux, sauf à considérer la vapeur d'eau comme un polluant majeur), et qu'un effet de serre plus intense, en augmentant la température de la surface terrestre, pourrait faire monter le niveau des océans (ce qui ne gênerai pas les ours polaires) et fondre les glaces du pôle (d'où les fameux ours).

Le petit chimiste

Le dioxygène, c'est de la pollution d'il y a longtemps ?
Le mot «pollution» ne veut pas dire grand-chose... Mais si tu veux dire par là qu'à l'époque de sa libération par les bactéries, c'était un produit toxique pour les êtres vivants, tu as tout à fait raison. De nombreuses formes de vies de l'époque, habituées à un milieu sans oxygène, on du disparaitre lorsque ce gaz d'origine bactérienne a pu s'accumuler dans les différents milieux disponibles. D'ailleurs, le dioxygène est toujours une molécule toxique (hé oui - pensez donc aux effets de l'eau oxygénée sur les bactéries, tiens) pour les êtres vivants, qui ont mis au point tout un ensemble de protections chimiques pour neutraliser les effets destructeurs de ce gaz.
Toutefois, le dioxygène a aussi permis aux êtres vivants de l'époque qui sont parvenus à l'utiliser et à s'en protéger (nos ancêtres...) de prendre l'avantage sur les autres espèces, qui ont été cantonnées aux rares milieux sans dioxygène...



Une partie du noyau d'une cellule pancréatique, grossi 11000 fois. De quoi sont donc faits les êtres vivants? Photo de l'auteur.

LA NATURE DU VIVANT

1 - Les êtres vivants sont faits de matière ordinaire

11 - Les êtres vivants sont constitués d'éléments chimiques très communs

Lorsque les humains ont commencé à s'interroger sur les êtres vivants, une de leurs premières préoccupations a été de savoir ce qui les séparait du monde des objets inertes, de savoir ce qui les rendait vivants. Plusieurs idées, depuis l'antiquité grecque et les débuts de l'aventure des sciences, ont cherché à expliquer les particularités du vivant (voir encadré ci-contre). Une des opinions les plus répandues était que la matière des êtres vivants était particulière, elle était «animée» par «quelque chose» de mystérieux, un «fluide vital» (1), une «force motrice» qui la rendait totalement différente de la matière ordinaire, celle des objets inertes.



Ces conceptions n'allaient toutefois pas résister aux découvertes de la chimie naissante réalisées à partir du 18ème siècle. Cette révolution de la chimie allait coïncider avec une autre: c'est en effet en 1789 que Lavoisier (*ci-contre, peint par David en 1788 avec sa femme, Marie Anne Pierette Paulze, qui participa grandement à ses recherches*) publie son «*traité élémentaire de chimie présenté dans un ordre nouveau et d'après les découvertes modernes*». Il y présente ses découvertes, dont celle qui montre que les animaux, en respirant, changent la composition de l'air et l'enrichissent en «air fixe» (l'ancien nom du CO_2, vous l'aviez deviné). La respiration, cette caractéristique des êtres vivants, correspond donc à une transformation chimique de l'air. A la même époque, le Suédois Scheele démontre que l'on peut extraire de végétaux et d'animaux divers acides (2): certaines propriétés des êtres vivants, comme le goût des citrons par exemple, se révèlent alors être liés à la présence de produits que l'on peut extraire de ces derniers, et qui n'ont rien de vivant. Dès le début du 19ème siècle, de nombreux scientifiques (3) appliquent les méthodes de Lavoisier et de Scheele (décomposition, par la chaleur par exemple, jusqu'à obtenir des substances qui ne peuvent plus être décomposées, et qu'on appelle des éléments) à l'étude de divers êtres vivants, persuadés, pour certains, de découvrir ainsi le secret du vivant.

Leurs découvertes sont surprenantes: que ce soit à partir d'animaux ou de végétaux, les êtres vivants et les produits qui en proviennent ne sont composés que des éléments carbone, hydrogène et oxygène! Bien que, rapidement, la présence, en quantité moindre, de l'élément azote soit aussi détectée, les scientifiques étudiant la chimie des êtres vivants doivent se rendre à l'évidence: C, H, O et N (4) sont les éléments fondamentaux de la matière vivante. Ce ne sont même pas là des éléments exceptionnels, bien au contraire: H et O composent l'eau, N se retrouve dans l'atmosphère, et le carbone se retrouve dans de nombreux matériaux: le charbon, les roches nommées carbonates, comme le calcaire, l'atmosphère...

La différence entre le monde vivant et le monde inanimé n'apparaît donc pas comme étant qualitative, car les êtres vivants se révèlent composés d'éléments très communs sur Terre (5). On peut toutefois continuer à croire, à l'époque, que la vie possède une particularité qui lui permet de mélanger, d'utiliser ces éléments d'une façon que les objets non vivants ne peuvent approcher. Cette illusion d'une vie au-delà de la chimie va être rapidement dissipée.

1 - Parfois appelé «vis vitalis», ou encore âme, et identifié un temps à l'électricité...
2 - Acide lactique provenant du lait, acide malique des pommes, et acide citrique des citrons, par exemple.
3 - Quelques noms à rechercher dans les encyclopédies ou wikipedia: Jöns Berzélius, Julius Liebig, Claude Berthollet
4 - Le symbole N provenant du nom anglais de l'élément azote: Nitrogène
5 - Et partout ailleurs dans l'univers: Si l'on exclu deux gaz (l'hélium et le néon, qui ne participent pas aux transformations chimiques), C, H, O et N sont parmi des plus répandus dans tout l'univers: H est l'élément le plus abondant, O est le troisième, C le quatrième et N le sixième élément le plus abondant de l'univers. Nous sommes fait de matière «universelle»... Déduisez en ce qui vous semble le plus logique...

Le contexte

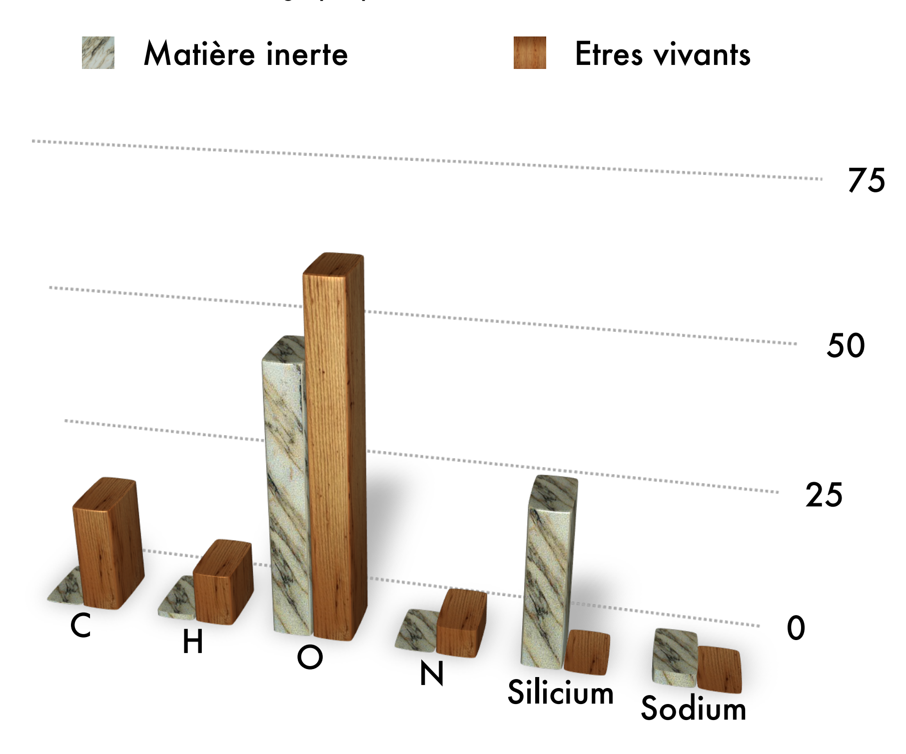
Qu'est-ce que la vie ?

La nature de la vie a toujours été une préoccupation importante, liée à l'inexorabilité de la mort et à des considérations religieuses jusqu'à ce que se développe, au cours de l'antiquité grecque, l'attitude scientifique qui consiste à expliquer le monde sans avoir recours à l'influence d'une quelconque divinité. Un des premiers philosophes (vers -600) à avoir affirmé que les êtres vivants étaient faits de «simple» matière est Thalès*, pour qui l'eau était à l'origine de toutes choses. Après lui, Empédocle (vers - 450) élabora l'idée que tous les êtres vivants résultaient du mélange de quatre éléments (eau, terre, air et feu), une idée qui inspirera la médecine jusqu'à la renaissance. C'est toutefois Aristote (vers - 350) qui a cherché à la préciser le mieux possible la nature du vivant: pour lui, est vivant ce qui change, ce qui respire**, ce qui est lié au souffle de la respiration. Ainsi, le vivant est animé par un «vent» intérieur, le mot grec pour «vent» se disant anima en latin, ce qui est à l'origine de deux termes liés à la vie: le mouvement (animation), l'animal (les végétaux n'étaient pas vu comme des êtres vivants à l'époque) et l'idée d'une «âme» qui «anime» les corps des vivants. La vie se trouvait alors considérée comme formée de la réunion de deux éléments: le corps matériel animé par une «force vitale» non matérielle. Cette situation où la vie était à la fois une mécanique (le mouvement), une mystique (l'âme) et une manifestation chimique (la matière) va perdurer et imprégner toute la pensée scientifique pendant 22 siècles... Tout le travail des explorateurs du vivant qui vont se manifester à la renaissance va être de remettre en cause l'interprétation d'Aristote en réalisant de nouvelles découvertes (par exemple l'organisation de la «matière vivante» en cellules) qui vont montrer que la «force vitale» est inexistante et qu'une seule, et la seule, chimie explique la matière, qu'elle soit inerte ou vivante.

** Oui, c'est bien le génial penseur auteur du théorème que vous connaissez tous...*
*** Il est d'ailleurs étonnant de voir que lorsque vous êtes entrés en sixième, vous aviez les mêmes idées qu'Aristote... Ce qui a dû changer depuis, j'espère!*

12 - Les êtres vivants se caractérisent par leur matière carbonée et leur richesse en eau.

L'analyse des éléments provenant des êtres vivants montre donc, des le début du 19éme siècle, que la différence principale entre matière vivante est essentiellement d'ordre quantitative, comme le montre le graphique suivant:

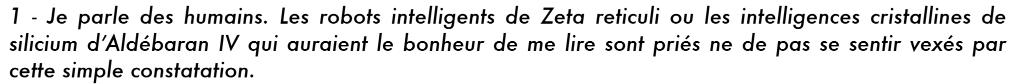


Sous quelle forme ces éléments sont-ils présents?

Chez les êtres vivants, O et H sont surtout présents sous forme d'eau, qui forme les 2/3 de leur matière. Ce qui reste, à part l'eau, est la matière sèche (bien nommée) qui représente environ 40 % d'un organisme animal. Cette matière sèche est elle-même composée à 50 % de carbone et pour 10% d'azote. On en déduit que nous (1) sommes principalement composés d'eau, de carbone et d'azote.

13 - Les éléments chimiques se répartissent dans diverses molécules constitutives des êtres vivants.

L'espoir de voir la matière des êtres vivants échapper aux lois de la chimie semblait s'amenuiser, mais même si les éléments qui composent les êtres vivants sont communs, peut-être ces derniers étaient-ils les seuls, par une propriété mystérieuse, à pouvoir les assembler pour créer la vie? Cet ultime espoir de voir la vie comme étant nettement séparée de la chimie a été ruiné accidentellement (2) en 1828. Cette année-là, Friedrich Wöhler, en étudiant les molécules contenant du carbone et de l'azote, fabrique de l'urée. Or, cette molécule est connue pour ne provenir que des animaux (3). Pour la première fois, une molécule du monde du vivant est obtenue à partir de produits d'origine minérale, «non vivants». Whöler s'exclame: *«Je peux faire de l'urée sans avoir besoin de reins ou même d'un animal, fût-il homme ou chien»* (4). A partie de cette époque, il devient évident que les êtres vivants ne sont pas particuliers et relèvent de la même chimie, des mêmes lois que les matériaux inertes. La vie passe d'un statut de souffle mystérieux à celui d'une propriété résultante d'une chimie complexe qui reste, à l'époque, à découvrir et explorer, mais qui ne nécessite plus de faire appel à une propriété «surnaturelle».

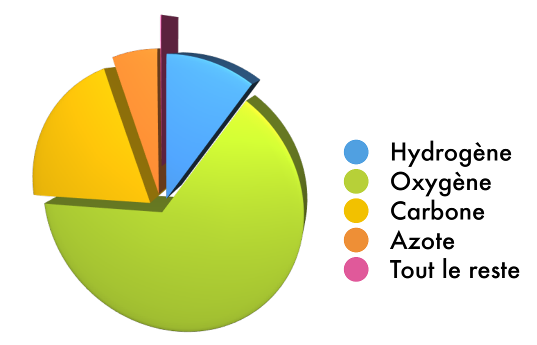


1 - Je parle des humains. Les robots intelligents de Zeta reticuli ou les intelligences cristallines de silicium d'Aldébaran IV qui auraient le bonheur de me lire sont priés ne de pas se sentir vexés par cette simple constatation.

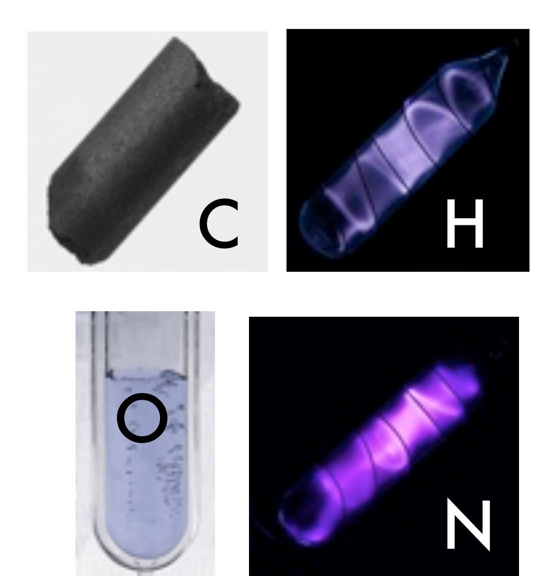
2 - Whöler ne cherchait pas du tout à fabriquer de l'Urée. Ici encore vous avez un exemple d'une découverte capitale réalisée par hasard. Toutefois, le hasard ne suffit pas en sciences. Comme le disait Pasteur :«le hasard ne favorise que les esprits préparés». Un bon scientifique est aussi celui qui sait saisir l'opportunité offerte par les hasards de l'expérimentation!

3 - Hilaire (c'est son prénom) Rouelle a identifié cette molécule dans l'urine des animaux en 1773.

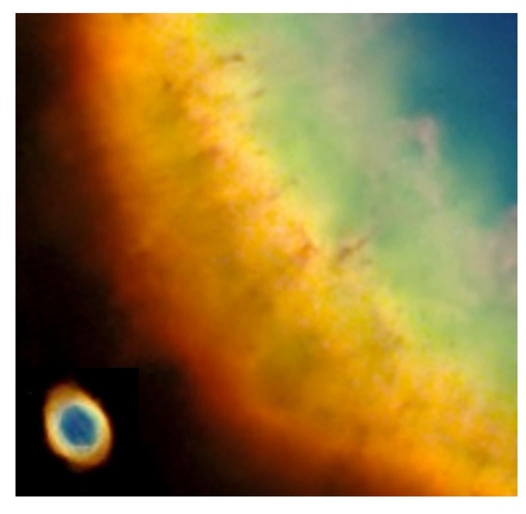
4 - Whöler en profitait pour tacler méchamment son ancien professeur, Berzélius, qui venait de déclarer (je simplifie son propos): «on ne parviendra jamais à préparer par voie synthétique des composés formés dans les organismes vivants. En effet, pour cela, il est nécessaire de faire intervenir la "force vitale" qui anime les êtres vivants, et qui ne saurait être retrouvée dans des composés inertes». En sciences, il faut savoir dépasser les limitations de son maître... compris ?



Répartition des différents éléments dans les êtres vivants (en % de leur masse). L'importance des 4 éléments C,H,O et N apparaît clairement.



Les quatre éléments constitutifs de la matière vivante: le carbone (ici du graphite, autrement dit une mine de crayon), l'hydrogène (sous forme de gaz dans cette lampe particulière), l'oxygène (ici sous forme liquide, d'un bleu léger, en train de bouillir à - 183 °C) et l'azote (sous forme gazeuse, rendu visible dans une lampe spéciale). C,H,N: Photos de Jurii, Wikimedia. O: Wikimedia



Cet agrandissement de la nébuleuse planétaire M57, reste d'une étoile ayant explosé, située à 2000 A.L. de la Terre, nous permet de distinguer, grâce à leur couleur, des éléments bien connus: O émet une lumière verte, N du jaune orangé et H du rouge. Sur cet arrière-plan lumineux se détachent les filaments sombres des nuages de C: nous sommes faits de matière «universelle»... Photo NASA/HST.

En 1835, le chimiste Hollandais Gerrit Mulder (1) découvre en analysant plusieurs produits d'origine animale (le blanc d'oeuf, la gélatine...) que ces derniers contiennent toujours des pourcentages très voisins de C,H,O et N. De plus, il découvre que dans tous les cas une petite quantité des éléments Phosphore (P) et Soufre (S) est présente dans ces produits. Cette substance étonnante (C/H/O/N + P et S), Mulder l'identifie dans de nombreux produits provenant des êtres vivants, et lui même affirme: «*je suis le premier à avoir montré que la viande est présente dans le pain, et le fromage dans l'herbe*» (2). En 1838, J.J. Berzelius (le revoilà - 3) suggère à Mulder de nommer ces substances de première importance dans les êtres vivants d'après le mot «premier» («proteos» en grec): ces molécules typiques des êtres vivants s'appelleront donc les protéines.

Deux autres types de substances sont bien connues, depuis l'antiquité, pour provenir, et donc constituer en partie, les êtres vivants: il s'agit des sucres et des corps gras.

L'analyse des sucres montre rapidement qu'ils ne contiennent que C,H et O dans des proportions qui correspondent à un «mélange» d'eau H_2O et de carbone, C. On leur donne donc le nom d'hydrates de carbone (4). En 1838, l'Académie des sciences décide d'appeler glucose (5) le sucre que l'on trouve dans le raisin, le miel ou l'amidon. La famille des sucres reçoit le nom de glucides, d'après une idée de N. Guibourt.

Les corps gras (huiles et graisses) tirés depuis l'antiquité des végétaux et des animaux sont particulièrement étudiés par le chimiste Eugène Chevreul, en 1823. Il apparait évident qu'ils font partie, en plus ou moins grande quantité, des êtres vivants. On les regroupe sous le nom de lipides (d'après le mot grec lipos, qui veut dire gras....).

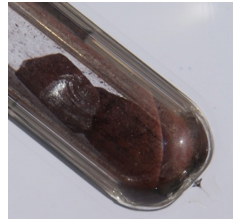
En 1842, la composition de la matière des êtres vivants peut donc parfaitement être résumée, et le grand chimiste Justus Von Liebig (6) peut écrire dans son traité de chimie organique: «la nature vivante est composée d'hydrates de carbones, de lipides et de protéines.»

Très rapidement, dès 1857, les chimistes F. Kékulé et A.S. Couper vont, chacun de leur côté, découvrir et démontrer que si le carbone est si important chez les êtres vivants, c'est qu'il sert de squelette aux molécules de glucides, lipides et protéines. Les autres éléments, O, N et H, se disposent tout autour de ces squelettes carbonés (7).

Les molécules constitutives des êtres vivants ont donc pu être regroupées en 3 grands groupes (glucides, lipides, protides), que vous connaissiez déjà par ailleurs depuis la cinquième, puisque ces grandes familles moléculaires ont un intérêt...culinaire!

Être vivant	Laitue	Mouton	Humain
Protides	1	17	18
Glucides	4	0,5	0,7
Lipides	0,2	20	18
Sels minéraux	0,8	1	4
Eau	94	60	60

Tableau comparatif de la composition de différents êtres vivants. Les proportions de différents éléments sont similaires, même si l'on doit remarquer la richesse en eau des végétaux comme la salade.

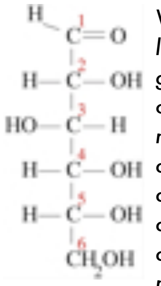
Le soufre (en jaune) et le phosphore sont deux éléments constitutifs des protéines (aussi appelées protides). Le Phosphore a aussi été également identifié dans d'autres types de molécules des êtres vivants. Ces éléments ne sont pas présents chez les êtres vivants sous cette forme pure, mais incorporés dans différentes molécules. Photos: Jurii, Wikimedia.

VOYEZ-VOUS MÊME :

Vous pouvez vérifier dans votre cuisine, en quelques minutes, la composition des sucres. Prenez un morceau de sucre, et une poêle qui «ne risque rien». Aérez ou mettez la hotte. Couvrez et chauffez. Le sucre va fondre, la couleur marron du caramel (causée par de nombreuses transformations chimiques) apparaît .

Relevez le couvercle: vous constaterez que de l'eau s'est condensée dessus. Cette eau ne peut provenir que du sucre. Chauffez encore: de l'eau continue de se condenser alors que votre caramel vire au noir, puis se carbonise (mot bien choisi!). A la fin, il ne reste dans la poêle qu'un résidu noir: du carbone (comme la mine de votre crayon à papier, ou le charbon).

Vous venez de vérifier l'égalité Sucre = carbone + Eau. CQFD.



Hydrates de carbone:

Vous connaissez la formule de l'eau, H_2O. La formule du glucose est $C_6H_{12}O_6$. Vers 1840, on écrivait cela $C_6(H_2O)_6$: 6 molécules d'eau + 6 atomes de carbone. La disposition du carbone (formule du glucose ci-contre) montre que cet élément constitue le «squelette» de la molécule.

1 - Qui n'est pas l'ancêtre de l'agent Mulder de la série «X-files»...

2 - Non, il n'avait pas absorbé un dose massive de substances alcooliques... Que veut-il dire ? Si vous ne l'avez pas compris, je traduis: «je suis le premier à avoir montré que la même substance est présente dans des produits aussi différents que la viande, le pain,le fromage ou l'herbe» (sous entendu «qu'est ce que je suis bon, quand même!»)

3 - Berzélius était un chimiste extrêmement célèbre (il a réalisé de nombreuses découvertes, c'est lui, par exemple, qui a mis au point la façon d'écrire la formule des produits chimiques que vous utilisez toujours) et important (il avait eu l'idée de publier un «compte-rendu annuel des progrès de la chimie et de la minéralogie», dans lequel il présentait et critiquait fortement chaque année les découvertes et travaux des autres chimistes - il fallait donc être plutôt bien vu de Berzélius, et faire attention à ses remarques...)

4 - Autrement dit, du «carbone mouillé»...

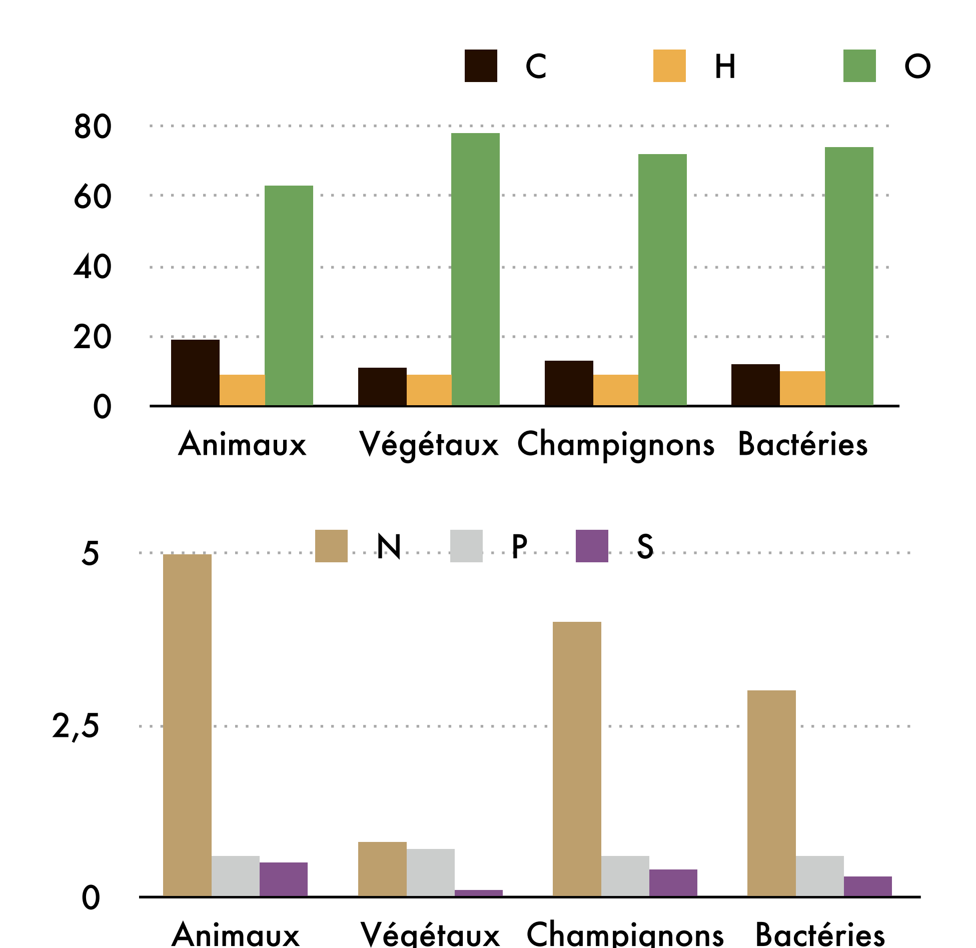
5 - Un sucre bien connu mis en évidence pour la première fois chez les animaux en 1815 à la suite d'expériences peu ragoûtantes: c'est en faisant s'évaporer de l'urine de diabétiques que des scientifiques comme Gay Lussac, Thénard ou Biot obtiennent de petits grains blancs au goût sucré (oui, à cette époque les chimistes «goutent» les produits - beaucoup en sont morts, alors ne les imitez pas!) à qui ils donneront, pour la 1re fois, le nom de «glucose».

6 - Ce nom ne vous est peut-être pas inconnu: Liebig a mis au point un extrait de viande, et le premier lait «maternisé» pour bébés, et a fondé une entreprise qui porte toujours son nom et fabrique, entre autres, des soupes en brique... De nombreux chimistes ont utilisé leurs découvertes pour créer une entreprise: la science peut mener à l'industrie, et même à la fortune....

7 - D'autres éléments, moins bien représentés, sont indispensables aux êtres vivants: vous connaissez déjà les sels minéraux (sodium, potassium, chlorure...) surtout présents en solution dans l'eau. D'autres éléments, encore plus rares dans les êtres vivants, sont toutefois indispensables au bon fonctionnement d'un organisme: le Fer, par exemple, est impliqué dans le transport de l'O_2 dans le sang.

14 - L'unité chimique des êtres vivants est un indice de leur origine commune.

Tous les êtres vivants découverts et étudiés se révèlent être composés des mêmes éléments, formant les mêmes molécules, «de la bactérie à l'éléphant» (1). Comment expliquer cette étonnante ressemblance, qui apparait bien dans les graphiques ci-dessous :



Pourcentage de divers éléments chimiques chez les animaux, les végétaux, les champignons et les bactéries. On constate que les proportions des six éléments les plus abondants sont très voisines, même entre des groupes d'êtres vivants extrêmement différents.

Cette unité chimique (2) peut s'expliquer si l'on fait l'hypothèse que toutes ces formes de vies proviennent d'un ancêtre commun ayant lui-même possédé une composition chimique similaire. Cela signifie que toutes les formes de vies actuelles, sur la planète Terre, découlent d'une origine commune, et que ces premiers êtres vivants se sont formés à partir des éléments chimiques les plus abondants et les plus facilement disponibles sur la Terre primitive (3). Ou niveau le plus «élémentaire» (c'est le cas de le dire), le monde vivant montre donc une grande unité qui s'explique par l'évolution des divers êtres vivants à partir d'une origine commune.

Une des conséquences de cette origine commune du vivant doit être que non seulement les cellules des divers êtres vivants devraient avoir une composition chimique similaire, mais aussi une organisation et un fonctionnement voisin. Nous allons voir que c'est exactement ce qui a été découvert et confirmé par de nombreux scientifiques tout au long des deux derniers siècles.

1 - Cette expression a été employée par un excellent scientifique français, prix Nobel, Jacques Monod qui, en découvrant certaines parties du fonctionnement interne des cellules, voulait ainsi affirmer que les cellules fonctionnent de la même façon qu'elles appartiennent à une bactérie où à un éléphant (à quelques détails près, qui font qu'une cellule d'éléphant n'est pas une bactérie!)

2 - Comme vous êtes observateurs, vous vous êtes rendu compte qu'il existe tout de même une légère différence entre le % d'azote (N) contenu dans les végétaux et celui des autres êtres vivants: les végétaux contiennent de 2 à 5 fois moins d'azote que les autres êtres vivants. Cette différence s'explique non pas par une origine spéciale des végétaux (car le % des autres éléments est voisin de celui observé chez les autres êtres vivants) mais par leur façon de se nourrir. Autrement dit, cette pauvreté en azote est secondaire, apparue au cours de leur histoire. Faire la différence entre des caractères originels et secondaires est un des problèmes les plus difficile de la biologie.

3 - J'insiste: non seulement ces éléments sont les plus abondants sur Terre, mais aussi dans tout le reste de l'univers...

Pendant le cours

Questions d'élèves

Le cordon bleu

Si tout ce qui est vivant est formé de C,H,O,N,P et S, comment ça se fait qu'on puisse pas se nourrir juste avec ça ?

Tout simplement parce que nos cellules ont besoin, pour fonctionner, de molécules «toutes faites» et non pas d'éléments séparés ! C'est comme si on te livrait un sac de composants électroniques au lieu d'une TV...

Le fou de tuning

Le carbone, c'est le même qu'il y a dans les carrosseries de voiture ? C'est super cher!

Oui, c'est la même matière, le même élément, mais dans l'exemple que tu donnes ce qui fait son prix c'est sa mise en forme de fibres aptes à êtres tressées

Le roi de la soupe en sachet

C'est n'importe quoi, si je jette dans de l'eau une poignée de C,H,O,N, P et S, ça va pas donner une être vivant!

Pas du tout, c'est vrai: dans les êtres vivants, ces éléments sont organisés sous forme de molécules très diverses, construites, utilisées ou détruites par les cellules. A l'état brut, ils sont inutilisables (sauf O_2). Quant à la formation de la première «cellule», elle a débuté par des transformations chimiques impliquant ces éléments sous diverses formes moléculaires, mais c'est là une autre histoire, encore très mal connue...

Le bon élève (qui a la question qui tue)

Est-ce qu'il pourrait y avoir des êtres vivants avec autre chose que les éléments C,H,O et N ?

Certains ont pensé que le Silicium des roches pourrait, sur des planètes lointaines, remplacer le carbone dans l'aventure de la vie. Toutefois, comme les éléments de base du vivant sont aussi les plus abondants dans l'univers entier, il y a de bonnes chances qu'ils caractérisent la vie partout où elle existe...

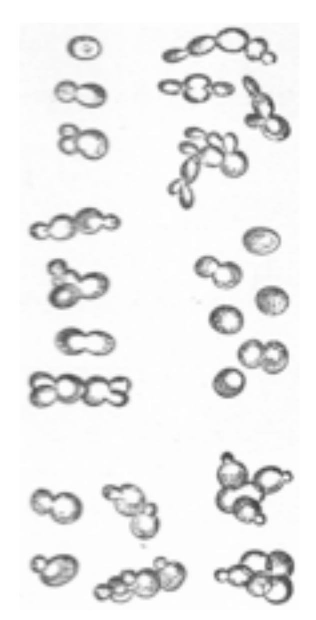
Résumé

Tous les êtres vivants sont formés de molécules similaires contenant principalement les éléments Carbone, Hydrogène, Oxygène et Azote, auquel se rajoute un peu de Phosphore et de Soufre. Cette unité chimique du vivant est un indice supplémentaire de l'existence, au début de la vie, d'un ancêtre commun à tous les êtres vivants constitué lui même de molécules contenant ces mêmes éléments.

2 De nombreuses transformations chimiques se déroulent à l'intérieur des cellules

En 1824, le biologiste français Henri Dutrochet avait montré l'importance des cellules dans la constitution des êtres vivants (1). En 1839, le biologiste Theodor Schwann pouvait déclarer avec confiance que «la cellule est l'unité de base du règne végétal et du règne animal» (2). Comme il devenait évident que le fonctionnement des cellules devait permettre d'expliquer celui des êtres vivants, de nombreux scientifiques essayèrent d'étudier l'intérieur des cellules: certains se spécialisèrent dans l'étude de l'organisation de l'intérieur de la cellule, d'autres dans les transformations chimiques qui s'y produisent.

21 L'ensemble des transformations chimiques cellulaires constitue le métabolisme



Une des transformations chimiques les plus étudiées au 19éme siècle, car d'une grande importance économique, est la fermentation: c'est elle qui transforme les sucres en...alcool, et qui donc est responsable de la formation du vin, de la bière et de toutes les boissons fermentées. À la même époque, l'idée que les êtres vivants n'agissent que par le biais de la chimie seule fait son chemin. Schwann (3) et Pasteur ont montré que les fermentations sont réalisées grâce à des êtres vivants microscopiques, les levures (*dessin ci-contre, réalisé au microscope en 1914, montrant des levures en train de «bourgeonner» pour se reproduire*).

Peut-on monter que cette transformation est réalisable sans cellules, mais à partir des substances chimiques qu'elles contiennent ? En 1893, le chimiste Eduard Büchner étudie les propriétés d'un «jus» de levure, qu'il obtient en déchiquetant des levures puis en les comprimant. Il montre que ce jus, qui ne contient plus de cellules, permet de réaliser plusieurs transformations chimiques (4), mais il constate que son activité diminue rapidement. Pour le conserver, il essaye, en 1896, de le diluer dans une solution sucrée. Avec surprise, il constate alors qu'un début de fermentation se produit: le sucre de la solution est transformé en alcool sans que les levures vivantes ne soient nécessaires. Büchner vient donc de montrer non seulement que les êtres vivants doivent bien leurs propriétés à des transformations chimiques, mais aussi que ces transformations peuvent se produire en l'absence d'être vivant: il suffit que soient réunies les molécules nécessaires (5).

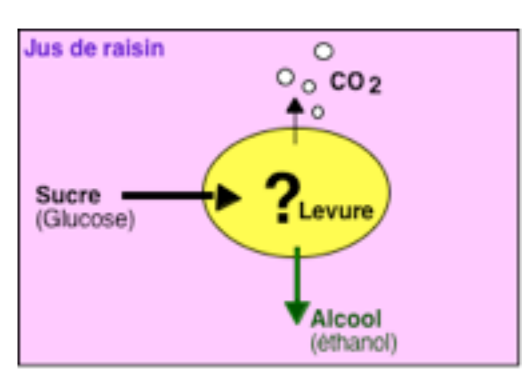
Des transformations chimiques se produisent donc dans les cellules. L'ensemble de ces modifications chimiques a été nommé métabolisme (6).

Pour la fermentation, les transformations observées peuvent s'écrire:
glucose → éthanol + CO_2 (avec un dégagement de chaleur, donc une libération d'énergie...). Si on utilise les formules de ces molécules, et que l'on équilibre la transformation, comme vous l'avez appris en chimie, alors on obtient:

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2\ C_2H_6O + 2\ CO_2.$$

Cette relation est un bilan: on ne sait pas ce qui se produit «dans la flèche»: plusieurs étapes sont nécessaires avant de passer du glucose à l'alcool et au CO_2. Globalement, on peut décrire la fermentation comme étant la «cassure» d'une molécule de glucose en deux molécules d'éthanol et deux molécules de CO_2, cette cassure étant réalisée par des molécules présentes dans la levure. Vous connaissez le nom de ces molécules, fabriquées par les êtres vivants, par leurs cellules, donc, et qui permettent des transformations chimiques comme, par exemple, le découpage de molécules... Vous les avez rencontrées lorsque vous avez étudié la digestion, en cinquième (je sais, c'est loin). Oui, c'est cela: ce sont des enzymes qui, à l'intérieur des cellules, permettent que se réalisent les transformations chimiques (7).

À tout instant, des milliers de transformations chimiques se produisent donc dans une cellule, l'effet résultant de ces transformations portant un nom: la vie!





Dès 1810, le chimiste Gay-Lussac, généralisant des résultats obtenus par Lavoisier en 1789, avait établi que la fermentation des sucres (contenus dans le jus de raisin, par exemple) produisait de l'alcool (l'éthanol, celui qui est «comestible») et du CO2. Cette transformation est réalisée par des êtres vivants, microscopiques, les levures. Büchner montre en 1896 qu'il peut obtenir la même transformation sans levures vivantes, mais en utilisant un «jus» provenant de levures broyées: il n'est donc pas nécessaire que des êtres vivants interviennent, leur contenu suffit. Cela contribue à montrer que ce sont les molécules contenues dans des êtres vivants qui sont à l'origine de leurs propriétés. Vous avez peut-être étudié expérimentalement la fermentation par le biais de ce genre de TP.

Métabolismes et énergie: trois bilans

Vous connaissez depuis vos débuts au collège le nom des deux principales transformations chimiques, des deux métabolismes que l'on rencontre chez la plupart des êtres vivants: la respiration et la photosynthèse. Vous pouvez y rajouter à présent la fermentation.

Bien que ces métabolismes nécessitent de nombreuses étapes dans les cellules, vous en connaissez le bilan depuis la cinquième. Si vous l'avez oublié, il est temps de vous rafraîchir la mémoire: voici ces Bilans écrits façon «collège» puis en tirant parti de vos récentes aptitudes en chimie (oui, ne soyez pas trop modestes!).

La respiration, dont le bilan a été établi par Lavoisier dès 1780, est utilisée par toutes vos cellules pour se fournir en énergie:
glucose + dioxygène → eau + CO_2 (+énergie)
$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6H_2O + 6CO_2$ (+ énergie)

La photosynthèse, qui permet aux cellules des végétaux (et à certaines bactéries) d'utiliser l'énergie du soleil (ou de toute source de lumière) pour fabriquer...du sucre! (et tous ses dérivés)
Eau + CO_2 + énergie → glucose + dioxygène
$6H_2O + 6CO_2$ (+énergie) → $C_6H_{12}O_6 + 6O_2$

La fermentation, que vous venez de découvrir, et qui est à l'origine de boissons «universellement» appréciées...
glucose → éthanol + CO_2
$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2\ C_2H_6O + 2\ CO_2$.

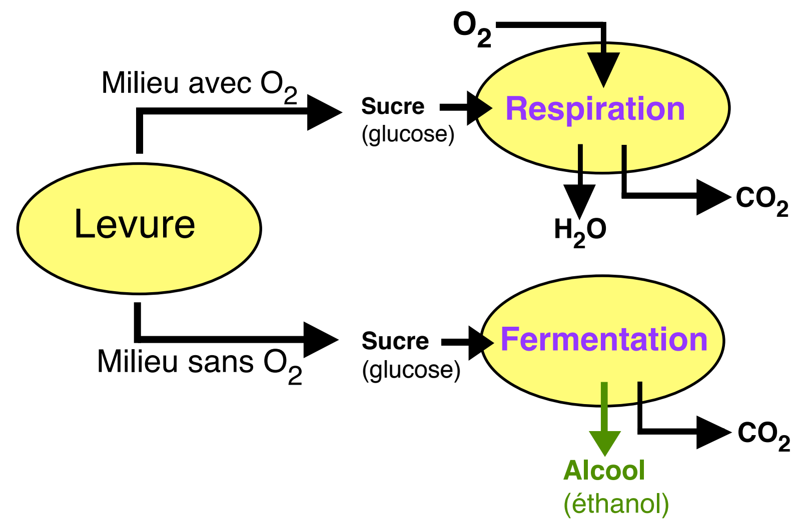
1 - Il affirmait dans son livre *Recherches sur la Structure intérieure des animaux et des végétaux*: «La nature possède un plan uniforme pour la structure des êtres organisés animaux ou végétaux (...) tous les êtres vivants dérivent de la cellule dont ils sont la modification.»
2 - Les champignons, à cette époque, étaient par erreur considérés comme des végétaux, quant aux bactéries... peu de monde s'en préoccupait.
3 - Ainsi que les Scientifiques Kützing en Allemagne et Cagniard de Latour en France, ce dernier étant «motivé» par une récompense d'un Kg d'or offert par l'académie des sciences à qui résoudrait les mystères de la fermentation...
4 - voir exercices
5 - Büchner fonde ainsi une nouvelle science, la «chimie du vivant,» ou biochimie.
6 - D'après le mot grec μεταβολή. Oui, c'est peut-être un peu difficile à lire et à prononcer, non? Cela se dit «métabol» et signifie changement, transformation.
7 - A proprement parler, l'idée que les enzymes interviennent dans le métabolisme n'est pas à votre programme. Mais je me refuse à vous considérer comme des imbéciles, et vu que vous connaissez déjà la notion d'enzyme.... Sinon, rassurez-vous : vous ne devriez pas être interrogés là-dessus !

22 Le métabolisme est contrôlé par les conditions du milieu et par les gènes.

221 Le milieu influence le métabolisme: l'exemple de la fermentation et de l'effet Pasteur

Entre 1857 et 1867, Pasteur, à la demande des industriels de la bière et du vin, étudie les fermentations. Il découvre quelques faits surprenants. Tout d'abord, pour que les levures produisent de l'alcool en quantité, il est nécessaire qu'elles soient protégées de l'air, et plus précisément, du di-oxygène (1). Dans ces conditions, donc, les levures se reproduisent lentement et produisent de l'alcool.

Mais que se passe t'il en présence de dioxygène ? Les levures, loin de mourir ou de souffrir d'une quelconque façon de la présence de ce gaz, se multiplient plus vite, mais... elles ne produisent plus d'alcool! Surpris, Pasteur montra que, dans ce cas, elles absorbent le dioxygène et rejettent du CO_2, autrement dit elles... respirent! Si on enlève de nouveau l'O_2 de leur milieu, alors ces mêmes levures, se multipliant plus lentement (2), réalisent de nouveau le métabolisme «fermentation», fabricant alors de l'alcool (voir schéma ci-dessous).



Autrement dit, en présence de dioxygène, la fermentation cesse. Cet effet (3) est réversible.

Les cellules de levure changent donc le métabolisme qu'elles utilisent en fonction d'un élément de leur milieu: la présence ou l'absence d'O_2. En effet:
- En présence d' O_2, elles utilisent ce dernier en réalisant la respiration
- en absence d' O_2, elles réalisent la fermentation.

La quantité d' O_2 disponible dans le milieu détermine donc le métabolisme qui va être utilisé par les cellules de levure: on peut affirmer que les caractéristiques d'un milieu peuvent donc contrôler (ou du moins influer sur) le métabolisme d'une cellule.

Cette sensibilité des métabolismes aux conditions du milieu a été rapidement découverte comme étant générale: vers 1885, Émile Duclaux, biologiste qui travaillait avec Pasteur, découvrit que la moisissure Aspergillus n'utilisait un métabolisme lui permettant de de nourrir à partir du sucre saccharose que si ce sucre se trouvait dans son milieu. Le ou les enzymes nécessaires à ce métabolisme étaient donc activés ou fabriqués «a la demande» par la moisissure en fonction des particularités de son milieu. Par la suite, un comportement semblable a été identifié chez de très nombreux micro-organismes, et son étude a conduit à d'importantes découvertes (4).

Les micro-organismes ne sont pas seuls à avoir un métabolisme sensible aux modifications de leur milieu: c'est une caractéristique générale des êtres vivants. Pour en donner un autre exemple, nos propres cellules musculaires possèdent plusieurs métabolismes (on parle plus exactement de «voies métaboliques») leur permettant d'obtenir l'énergie nécessaire à leur contraction: lorsqu'elles ont du dioxygène en quantité, elles utilisent la respiration, mais elles sont aussi capable, au cours d'un effort rapide où trop peu de dioxygène est apporté au muscle, d'utiliser un type de fermentation qui a pour conséquence de fabriquer de l'acide lactique dont l'accumulation peut déclencher des crampes (5). Le taux de dioxygène est ici aussi un des éléments de contrôle (6) du métabolisme de nos propres cellules.

1 - Pasteur déclarera d'ailleurs: «la fermentation, c'est la vie sans l'air».

2 - voir exercices

3 - Appelé effet Pasteur (ce dernier était très loin d'être modeste, mais n'est pas à l'origine du choix de ce nom).

4 - En particulier des découvertes expliquant le contrôle de l'activité de certains gènes.

5 - D'où l'importance d'une bonne ventilation lors d'un exercice sportif, comme vos différents profs d'EPS n'arrêtent pas de vous le répéter...

6 - Il y a de nombreux autres éléments de contrôle du métabolisme, surtout pour des cellules qui doivent vivre ensemble et communiquer pour constituer un organisme...



Cuves de fermentation dans une exploitation viticole en Californie. Dans ces immenses citernes, sans contact avec le dioxygène, les levures réalisent le métabolisme de la fermentation, consommant le sucre provenant des fruits et libérant de l'alcool. Photo Lynn B, Wikimedia.
L'industrie des fermentations est aujourd'hui extrêmement importante: outre le vin et la bière, de nombreux produits pharmaceutiques ou chimiques sont obtenus en utilisant le métabolisme de levures ou de bactéries.

Bulletin de la Société chimique de Paris, 1861

Sur les ferments

M. Pasteur fait une communication sur les prétendus changements de forme des cellules de levure de bière suivant les conditions extérieures de leur développement.(...) M. Pasteur communique ensuite à la Société de nouvelles observations au sujet de la levure de bière et des rapports qu'elle offre entre son mode d'accroissement et ses propriétés, selon qu'elle est mise en contact avec le gaz oxygène de l'air ou le gaz acide carbonique (CO_2) dès le commencement de la fermentation.

La levure, semée dans une liqueur sucrée entièrement privée des plus faibles quantités d'air, se multiplie, augmente de poids, et détermine la fermentation du sucre. La levure peut donc vivre et provoquer la fermentation, bien que les liqueurs où elle a été semée ne renferment pas la moindre trace de gaz oxygène libre.

M. Pasteur a reconnu, d'autre part, que néanmoins, s'il y avait de l'air à l'origine dans les liqueurs ou à leur surface, la levure se multipliait encore et même beaucoup mieux que dans le premier cas; c'est-à-dire que dans le même temps, et toutes choses égales d'ailleurs, il s'en forme une plus grande quantité; mais cette levure, pendant son développement, n'a qu'une activité très faible comme ferment, bien qu'elle agisse énergiquement sur le sucre si on la met ultérieurement en contact avec de l'eau sucrée à l'abri du gaz oxygène.

Texte original de la communication de Pasteur à la société chimique de Paris, en 1861, dans laquelle il a décrit, dans les termes de l'époque, ses découvertes sur les métabolismes utilisés par les levures en fonction de la teneur en dioxygène de leur milieu.

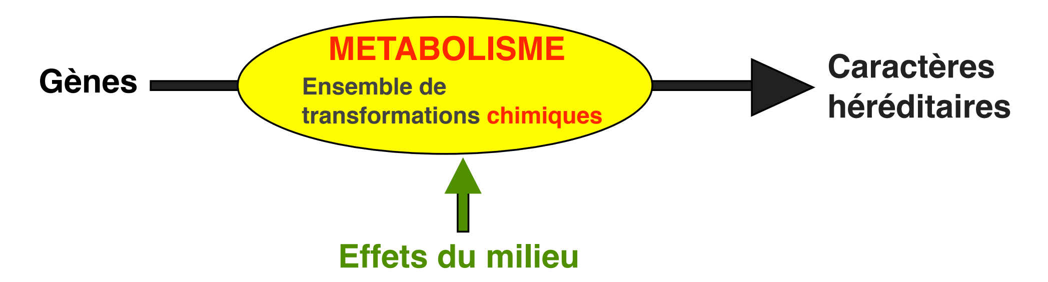
222 Les gènes contrôlent le métabolisme: l'exemple de l'alcaptonurie

Au début du 20ème siècle, le Dr Archibald Garrod étudie, à Londres, une maladie rare, l'alcaptonurie, qui se manifeste par l'apparition tardive de rhumatisme (douleurs aux articulations) et peut se détecter par un caractère étonnant: après quelques heures à l'air libre, l'urine des malades devient foncée, presque noire. Cette couleur est due à la présence dans l'urine d'un acide qui, normalement, est détruit par les cellules du foie chez les individus sains. Cette destruction, obtenue chimiquement, fait donc partie du métabolisme des cellules en bonne santé.

le Dr (1) Garrod a l'idée de s'intéresser à l'histoire familiale de ses patients. Il constate que la maladie est plus fréquente dans les familles où il existe des mariages consanguins (entre cousins, par exemple). Il discute de ses résultats avec un autre scientifique (2), Bateson, qui se trouve être un spécialiste de la génétique, et connait les découvertes de Mendel (3). Garrod découvre alors que le caractère «malade de l'alcaptonurie» se transmet de façon héréditaire comme les caractères étudiés par Mendel sur les pois. Autrement dit: ce caractère lié au métabolisme correspond à un gène. C'est la première démonstration qu'un gène peut directement influencer le métabolisme. Chez les malades, ce gène n'est pas fonctionnel, il a été, dans le passé de notre espèce, modifié chez des individus qui ont ensuite transmis ce gène devenu inactif. Cette modification est une mutation (4) du gène.

A la même époque où Garrod étudiait le passé des familles de ses malades, le biologiste Thomas Morgan, aux USA, étudiait la répartition des caractères héréditaires chez un animal facile à élever rapidement en grande quantité, la mouche du vinaigre Drosophila melanogaster. Rapidement, il découvrit qu'il existait des drosophiles mutantes présentant des caractères nouveaux (ne provenant pas de leurs parents ou ancêtres). Parmi ces caractères, la couleur de l'oeil était sujette a plusieurs mutations aisément repérables. La répartition de ces mutations dans la descendance des individus prouva qu'elles étaient bien liées à un (voire plusieurs) gène qui s'était accidentellement modifié (6). Toutefois, on peut remarquer que la coloration de l'oeil est causée par des colorants (on appelle ces molécules des pigments, chez les êtres vivants) fabriqués par les cellules de l'oeil, autrement dit des pigments obtenus par différentes voies métaboliques. On a donc ici un autre exemple montrant qu'un gène peut modifier le fonctionnement du métabolisme.

Dès lors, on doit remarquer qu'il apparait que les gènes interviennent grâce au métabolisme pour obtenir les caractères héréditaires, les métabolismes utilisés étant également influencés par le milieu. On se trouve dans la situation décrite dans le schéma ci-dessous :



Mais cela amène une question: si les propriétés d'une cellule ne sont dues qu'à des transformations chimiques sous la double influence de l'environnement et des gènes, les gènes eux-mêmes, de quelles molécules peuvent-ils donc être constitués ?

1 - Garrod était bien plus un chercheur qu'un docteur, en fait. «On» disait de lui qu'en matière de médecine, son seul intérêt était l'urine de ses patients !

2 - Les discussions entre scientifiques sont indispensables, elles permettent de préciser ses idées, et d'en avoir d'autres, enrichies par les réflexions et les connaissances des collègues. C'est pour cela que les scientifiques discutent souvent, soit entre membres d'une même équipe, soit dans des grands rassemblements, des congrès (souvent organisés dans des endroits paradisiaques...), où ils présentent et discutent leurs travaux. Les échanges sont indispensables au progrès.

3 - Vous aussi, vous devriez vous en souvenir (voir ci-contre). Sinon, un détour par le chapitre 1 du manuel (gratuit) de troisième dont, par un hasard extraordinaire, je suis l'auteur, me semble indispensable!

4 - Vous avez rencontré le concept de mutation en troisième, lorsque vous avez étudié l'évolution. Enfin, vous auriez du, mais peut être que le temps vous a manqué... Si c'est le cas, alors voyez le chapitre 3 du manuel de troisième...

5 - Malgré vos efforts, vous n'aurez jamais d'enfants capables de réaliser le métabolisme de la photosynthèse, par exemple. Le caractère «métabolisme de la respiration» est bien héréditaire...

6 - Modifications souvent causées par des erreurs dans la répartition ou la copie des chromosomes. Ce fut d'ailleurs Morgan qui prouva que les gènes étaient des régions des chromosomes. Voir manuel 3éme.

RETOUR VERS LA TROISIÈME : LES GENES

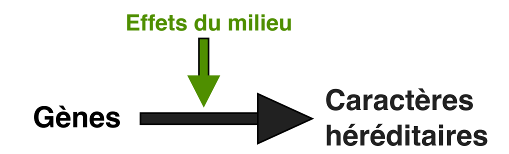
Les caractères héréditaires sont transmis de génération en génération grâce aux gènes, unités situées dans le noyau des cellules. Deux gènes (un d'origine paternelle, l'autre maternelle) correspondent à un caractère.

Les gènes correspondent physiquement à des régions de corps filamenteux, les chromosomes, organisés en paires, qui se recopient et prennent une forme en "X" caractéristique lorsqu'une cellule se divise. Cette copie conserve le nombre de chromosomes, donc de gènes, au cours de la division cellulaire.

Chaque gène est présent sous forme d'un allèle, qui représente l'information liée à ce gène. Sur une paire de chromosomes, les allèles peuvent être identiques ou différents (dans ce cas, si un seul allèle s'exprime il est dit dominant et l'autre est récessif).



La mouche du vinaigre, Drosophila melanogaster, possède normalement des yeux rouges. Morgan et son équipe identifièrent rapidement plusieurs mutants possédant des yeux d'autre autre couleur, allant de l'orange au blanc. Photo André Karwath, wikimedia



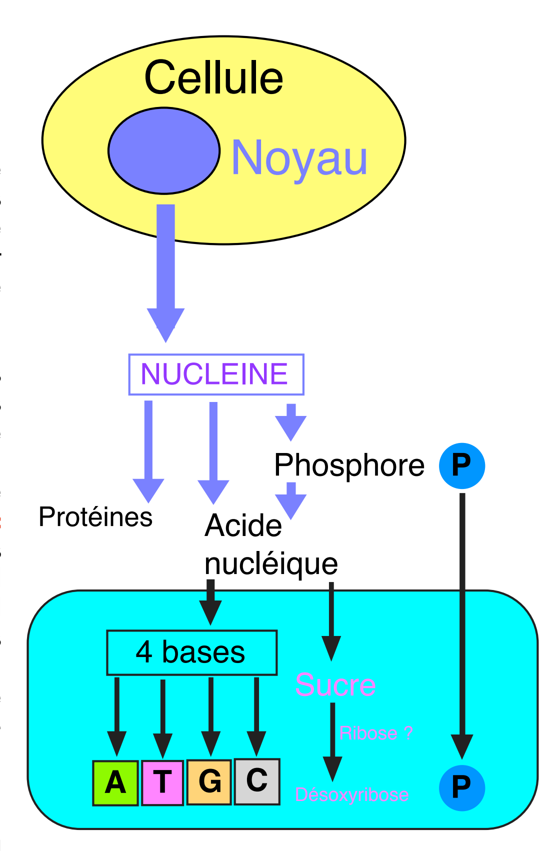
En troisième, vous aviez établi les liens entre gènes et caractères de la façon résumée sur le schéma ci-dessus, à comparer avec celui qui lui fait face pour mesurer le chemin parcouru. Oui, vous progressez, et ce n'est que le début...

Si vous y réfléchissez (oui, vous pouvez), les liens entre gènes et métabolisme ne sont pas surprenants. En effet, nous avons vu que le métabolisme est un ensemble de transformations chimiques se produisant dans les cellules, et impliquant des enzymes. Or, vous savez que les caractères d'un individu (donc, aussi, de ses cellules), donc les transformations que peut réaliser une cellule, dépendent de ses gènes, puisque ces caractères sont héréditaires (4). Il est donc logique de supposer que les gènes d'une cellule puissent être à l'origine, influencer, voire contrôler le métabolisme qui se déroule dans la cellule.

3 - Les gènes sont constitués par des molécules d'ADN chez tous les êtres vivants

31 - Les gènes sont faits d'ADN

L'époque où les scientifiques obtiennent les premières confirmations que la vie peut s'expliquer uniquement au moyen de la chimie coïncide avec la découverte des lois de l'hérédité et avec sa localisation dans la cellule, au niveau du noyau. Dès lors, une interrogation se faisait naturelle: quelle était la substance qui constituait les gènes, et comment cette substance permettait elle la transmission des informations génétiques d'une génération à une autre ?



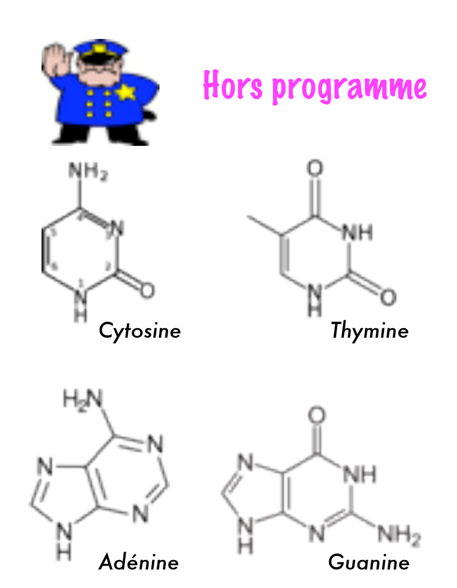
A partir de l'isolement de la Nucléine par Miescher en 1868, les chercheurs ont progressivement mis en évidence les éléments qui composent l'intérieur du noyau cellulaire, dont les chromosomes. Si l'on excepte les protéines, ces derniers sont formés d'ADN, lequel contient du phosphore, du désoxyribose et 4 types bases. Ces éléments étaient connus dès 1930 alors que le rôle et la structure de l'ADN étaient encore inconnus.

En 1868, le biologiste et chimiste Friedrisch Miescher tente d'étudier les protéines qui constituent les cellules. Pour obtenir des cellules humaines isolées, il «récupère» des leucocytes à partir du pus abondant fourni par les pansements usagés d'un hôpital proche (1). À l'époque, tout le monde scientifique est fasciné par les protéines. Toutefois, F. Miescher remarque que, lors de certains traitements, il obtient uns substance qui ne se comporte pas comme les protéines. Il découvre que cette substance, qui ne semble donc pas faite de protéines, provient des noyaux cellulaires. Miescher va continuer à purifier des noyaux cellulaires pour en extraire, de façon de plus en plus précise, cette substance qu'il nomme nucléine. En analysant ce produit, il découvre que, contrairement aux protéines, il ne contient pas de soufre, mais du phosphore, un élément qui n'existe pas dans les protéines. F. Miescher veut publier ses découvertes fin 1869, mais il lui faudra attendre un an avoir de voir son article accepté (2). Par le suite, en 1874, il montrera que la nucléine est présente dans le noyau des spermatozoïdes et affirmera *«si l'on admet qu'une substance unique est la cause de la fécondation, alors on devrait sans le moindre doute, penser à la nucléine»*.

Richard Altmann, spécialiste de l'étude des cellules, montre en 1889 que la nucléine contient deux éléments: des protéines et une partie acide qu'il nomme «acide nucléique». Sept ans plus tard, le chimiste Albrecht Kossel (3) montre que l'acide nucléique contient 4 éléments différents: 4 bases azotées (4): l'adénine (A), la guanine (G), la Thymine (T) et la cytosine (C). En 1906, l'infatigable Kossel (qui obtiendra le prix Nobel) découvre aussi qu'un sucre fait partie de ces fameux acides nucléiques. 2 ans plus tard, une équipe de l'institut Rockefeller, aux USA, étudie ce sucre et l'appelle ribose (5).

En 1928, les chimistes Jacobs et Levene montrent que, dans les noyaux, il «manque» un atome d'oxygène à chaque molécule de ribose: on a du désoxy-ribose. L'acide nucléique présent à ce niveau prend alors un nom célèbre de nos jours: acide Désoxy-Ribo-Nucléique ou ADN (DNA en anglais).

Toutefois, à l'époque, l'ADN n'intéressait pas grand monde. Comme il ne contenait que 4 bases différentes, on ne voyait pas comment il aurait pu transporter une information correspondant aux caractères héréditaires (avec 4 lettres, vous ne pouvez pas faire beaucoup de mots). Les protéines, avec une composition chimique bien plus variée, semblaient bien plus intéressantes. Pourtant, l'année même où Jacobs et Levene précisent la composition de l'ADN, un médecin anglais, Frederick Griffith, va sans le savoir lancer la course qui va aboutir à monter que les gènes sont formés d'ADN.



Voici les formules des 4 bases de l'ADN. Elles ne sont ni à connaitre, ni à retenir.
Par contre, vous pouvez voir que ces bases contiennent de l'azote (N, le carbone n'est pas représenté et se situe à chaque angle). Vous pouvez aussi remarquer que, dans leur forme, la cytosine et la thymine, ainsi que l'adénine et la guanine, se ressemblent étrangement... mais n'anticipons pas...

---

1 - Bon appétit ! Si l'on rajoute que le laboratoire de Miescher est installé dans un château médiéval qui domine la ville de Tubingen et que ce dernier doit travailler dans un froid glacial pour conserver les propriétés des substances extraites de monceaux de pansements purulents... Frankenstein n'est pas loin!

2 - Il est toujours très difficile pour un scientifique qui réalise des travaux originaux, où pas très «à la mode» d'être publié dans un journal spécialisé. Le plus souvent, il faut travailler à plusieurs et chercher la protection et l'influence d'un «patron» bien connu du journal. En sciences aussi, les relations, ça compte (n'oubliez jamais que la science est faite par des humains, avec leurs faiblesses...)

3- Il avait au le même prof que Miescher, Félix Hoppe-Seyler, un des premiers «biochimistes». Un enseignement de qualité est donc indispensable pour inspirer les progrès futurs (oui, les profs sont utiles, certes, j'en suis un, et alors ?). Vous remarquez aussi que nombre de chimistes célèbres sont Allemands (et de très grandes entreprises chimiques actuelles aussi), pourquoi ? À la même époque, les professeurs français les plus hauts placés niaient l'existence des atomes... La chimie prit alors en France un retard immense, et la mauvaise réputation de «science allemande»...

4 - L'ADN se comporte comme un acide en présence d'eau, mais il contient des éléments qui, eux, séparés de ce dernier, se comportent comme des bases. Oui, vous devez savoir ce qu'est un acide et une base!

5 - 98% de chances de coller votre prof (sauf s'il a lu ce magnifique manuel!) en lui demandant d'où vient le nom «ribose». En fait, l'équipe qui a étudié ce sucre travaillait au Rockefeller Institute for Biochemistry, et le nom scientifique d'un sucre est un ose (vous connaissiez le glucose, par exemple). On obtient alors en toute modestie Rockefeller Institute for Biochemistry - ose = R.I.B. - ose = ribose. Hé oui....

En 1928 le Dr Frederick Griffith, à Londres, essaye de mettre au point un vaccin contre la tuberculose, causée par une bactérie, le pneumocoque (1), dont il existe plusieurs souches (des «familles, chez les bactéries). Les pneumocoques R ne sont pas virulents, c'est-à-dire qu'ils ne provoquent pas la maladie, alors que ceux du type S sont mortel. Il est facile de les distinguer: alors que les R donnent, sur un milieu de culture, des ensembles (les «colonies») petits et ronds, les S donnent de grandes colonies d'apparence huileuse (*photo ci-contre*).



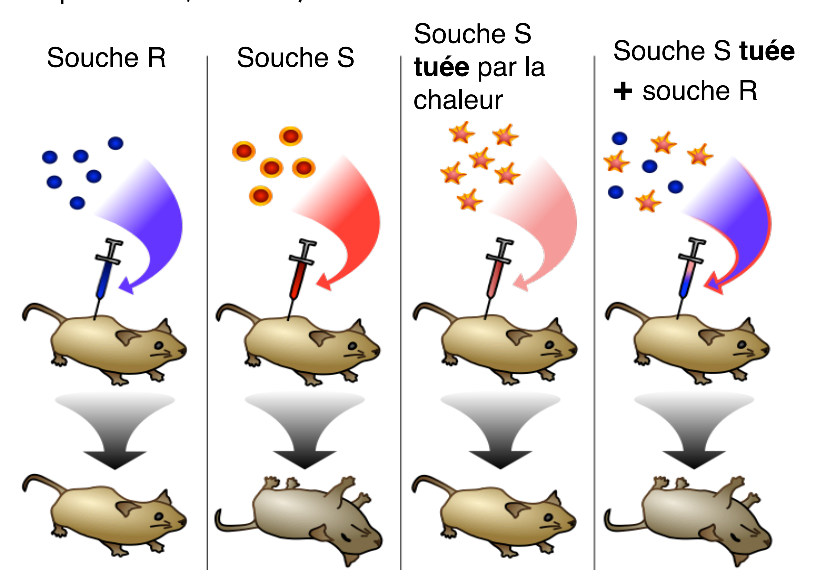
Les deux types de colonies de pneumocoques, au même grossissement. Photo JB Haulenbeck, 1943.

Après avoir vérifié l'effet des souches R et S, Griffith chauffe un bouillon contenant la souche S de façon à tuer les bactéries. Il vérifie sur des souris que la souche S chauffée est bien incapable de déclencher la maladie (2).

Pour une raison qui reste discutée (3), Griffith a alors l'idée d'injecter à des souris un mélange de bactéries S tuées et de bactéries R inoffensives (Schéma ci dessous d'après M.P.Ball, wikimedia).



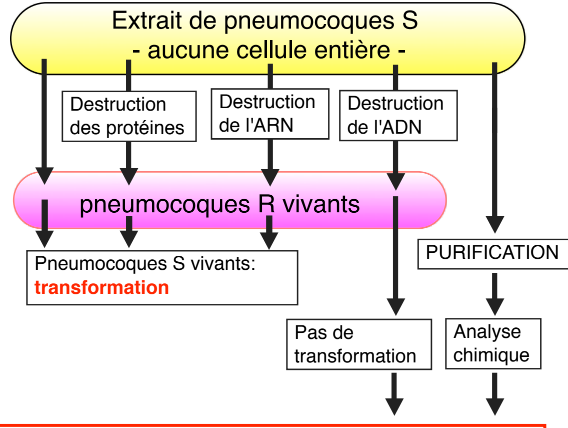
Frederick Griffith (avec le chapeau) et Bobby en 1936. Photo NIH.





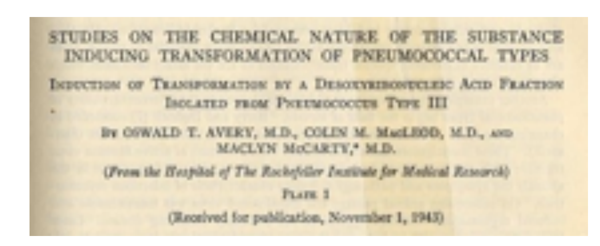
Oswald Avery, le meneur de l'équipe qui démontra le rôle de l'ADN, en plein travail. photo NIH.

Contre toute attente, les souris ainsi infectées meurent, et présentent tous les signes d'une infection par les bactéries S. Griffith refait l'expérience, la contrôle, cultive les bactéries récupérées sur les cadavres: ce sont bien des bactéries S vivantes. Griffith est forcé de se rendre à l'évidence: tout se passe comme si (4) «quelque chose» (que Griffith appellera «principe transformant») était passé des bactéries mortes S aux bactéries vivantes R et les avaient transformées en bactéries S dangereuses (voir schéma ci-contre). Le caractère S étant héréditaire, cela signifie, en termes modernes, qu'il y a eu un transfert de gènes entre les bactéries mortes et celles de la souche R. La matière qui compose les gènes semble donc résister à la chaleur, contrairement aux protéines...



Expériences d'Avery, Mc Leod, Mc Carty: la destruction (par des enzymes) des protéines ou des ARN (autres acides nucléiques) n'altère pas le mystérieux agent qui transforme les bactéries R en S. Par contre, la destruction de l'ADN détruit cet agent. Celui-ci est donc formé d'ADN, ce qui est confirmé par l'analyse chimique qui montre que cet agent en possède toutes les propriétés.

Ce résultat intrigant, vérifié et répété (5), va rester inexpliqué quelque temps: Griffith meurt lors d'un bombardement en 1941, et c'est une équipe de trois chercheurs du Rockefeller institute qui va identifier en 1943, en affinant la démarche de Griffith, la molécule qui constitue les gènes. Entre temps, deux autres chercheurs, Dawson et Sia, ont mis au point une technique qui permet d'observer la transformation de R en S sans avoir besoin de souris (6), dans un simple bouillon nutritif où les deux souches, R vivante et S morte, sont mélangées. Nos trois chercheurs, Oswald Avery, Colin Mac Leod et Maclin Mac Carthy, vont faire subir à un extrait de bactéries S, ne contenant plus de bactéries entières, divers traitement visant à détruire certains types de molécules. Ils observent ensuite si l'effet «transformant» est maintenu ou non (voir schéma ci-contre). Leur conclusion est nette: le «principe transformant» n'est détruit que par les produits ou les enzymes qui détruisent l'ADN. L'ADN est donc la molécule dont sont composés les gènes.


STUDIES ON THE CHEMICAL NATURE OF THE SUBSTANCE INDUCING TRANSFORMATION OF PNEUMOCOCCAL TYPES

INDUCTION OF TRANSFORMATION BY A DESOXYRIBONUCLEIC ACID FRACTION ISOLATED FROM PNEUMOCOCCUS TYPE III

BY OSWALD T. AVERY, M.D., COLIN M. MACLEOD, M.D., AND MACLYN MCCARTY,* M.D.

(*From the Hospital of The Rockefeller Institute for Medical Research*)

PLATE 1

(Received for publication, November 1, 1943)

Titre de l'article original d'Avery, Mc Leod, et Mc Carty dans le journal scientifique «journal de médecine expérimentale». Leur conclusion (ci dessous):

Les preuves présentées supportent l'hypothèse qu'un acide nucléique de type désoxyribose est l'unité fondamentale du principe transformant des pneumocoques de type III.

CONCLUSION

The evidence presented supports the belief that a nucleic acid of the desoxyribose type is the fundamental unit of the transforming principle of Pneumococcus Type III.

1 - *Connue aussi sous le doux nom de* Streptococcus pneumoniae.

2 - Souvenez vous, il cherchait à mettre au point un vaccin, donc, même si le mécanisme était inconnu à l'époque, à provoquer une réaction primaire dirigée contre les antigènes de la souche dangereuse - revoyez donc votre cour de troisième si cette phrase à la clarté d'un panneau de signalisation japonais.

3 - Peut-être *pour obtenir une réponse immunitaire plus intense due à la présence des bactéries R, non dangereuses ?*

4 - *Cette tournure de phrase est très commune dans les publications scientifiques, elle permet d'affirmer sans s'engager...*

5 - *Les expériences sont* toujours refaites, en science; et le résultat obtenu était, dans ce cas, renforcé par l'observation d'une transformation similaire découverte chez les virus par Berry et Dedrick en 1936 (cette information est si indispensable que vous pouvez l'oublier)

Vous pouvez penser que la découverte de l'équipe d'Avery, rapidement confirmée, a été acclamée, et que le rôle de l'ADN comme support des gènes a dès lors été reconnu. Pas du tout. De nombreux scientifiques ne voulaient pas croire que l'ADN puisse constituer les gènes, et ce, pour diverses raisons (1). Nombreux étaient ceux qui pensaient que l'ADN ne contenait que 4 bases qui se répétaient n'importe comment, et que cette molécule était «trop simple» pour expliquer l'hérédité.



Pour que L'ADN soit enfin reconnu comme support de l'hérédité et molécule constituant les gènes, il a fallu attendre 1952 et une autre expérience, menée au moyen de virus infectant les bactéries, par le microbiologiste Alfred Hershey et son assistance Martha Chase (photographiés ici à l'époque de leur expérience - *photo Oregon State University* - 2).

L'utilisation de virus permettait de simplifier les problèmes à résoudre. En effet, en 1935, le biochimiste WM Stanley avait réussi à cristalliser un virus infectant le tabac, et pensait que ce virus était constitué uniquement de protéines. Toutefois, l'année suivante, F. Bawden et N. Pirie, en analysant le virus purifié de Stanley, montrent qu'il est constitué de deux molécules différentes: une protéine et un acide nucléique. Dès lors, il devenait logique de penser que les virus étaient seulement constitués de ces deux éléments. Comme les virus se reproduisent à l'identique en grand nombre dans les cellules ou les bactéries, ils contiennent des gènes. Dès lors, l'alternative était simple: soit les gènes étaient des protéines, soit ils étaient des acides nucléiques. Les virus ne contenaient rien d'autre.

Le principe de l'expérience d'Hershey et Chase est simple (voir schéma): ils utilisent des virus dont ils ont rendu radio-actif (3) soit les protéines, soit l'ADN. Ils constatent que ce que les virus injectent dans les bactéries, et qui permet leur reproduction (donc leurs gènes) n'est radio-actif que dans le cas où ils utilisent des virus à ADN radio-actifs. À partir de là, la cause est entendue et les derniers sceptiques se rendent: les gènes sont constitués de molécules d'ADN.

Mais comment cette molécule peut-elle transmettre de l'information? De par l'existence actuelle et l'usage courant des ordinateurs, vous êtes familier avec la notion d'information, de code, de programme, de logiciel. Il en était tout autrement dans les années 50. A l'époque, les scientifiques raisonnaient en recherchant l'effet d'une empreinte moléculaire, d'un moulage qui viendrait se réaliser sur le gène qui serait alors un «moule moléculaire». En gros, on voyait le gène comme une espèce particulière d'enzyme, dont la forme aurait constitué l'information correspondant aux caractères héréditaires.

Une fois le rôle de l'ADN établi se posait donc la question de savoir comment cette molécule, que l'on pensait être une simple répétition de quatre éléments, pouvait contenir une information, se recopier de cellule en cellule; et comment se faisait la liaison entre l'ADN et les caractères héréditaires.

Une compétition va alors démarrer entre équipes de chercheurs pour établir la structure de l'ADN, connaitre sa forme et comprendre l'origine de ses propriétés.

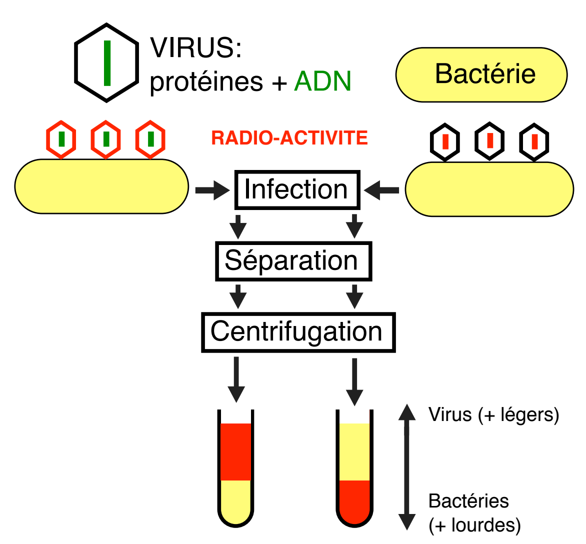
1 - Soit ils pensent qu'il reste des protéines, ou que les gènes doivent être des «super enzymes», ou que les bactéries sont trop différentes des autres cellules, ou que l'ADN ne joue pas de rôles dans l'hérédité même s'il est là... Ce qui les soutien, c'est que les chromosomes contiennent, certes, de l'ADN, mais aussi des protéines...

2 - Martha Chase, âgée de 25 ans, était l'assistante de Hershey. Elle a signé avec lui la publication, mais devinez qui a reçu le prix Nobel ? Hershey seulement.... La Science est faite par des hommes... parfois machos...

3 - faiblement radio-actifs! Juste pour pouvoir les détecter avec les bons appareils, sans que cela ne soit dangereux pour personne (la radioactivité des principaux éléments utilisés en laboratoire disparaît totalement en quelques mois)



Certains virus infectent les bactéries. Ici, une vue au microscope électronique (x 100000) d'un de ces virus, qui parasite une bactérie marine. Qu'injectent-ils dans les bactéries pour pouvoir s'y reproduire, Protéines ou ADN ? *Photo HW Ackerman pour NH Mann, PLoS Biology Vol. 3/5/2005.*



Expérience de Hershey et Chase: On utilise des virus dont les protéines (à gauche), **ou** l'ADN (à droite) sont radio-actifs. Après infection des bactéries, si on les sépare de ce qui reste des virus, on constate que les bactéries ne sont radio-actives que si l'ADN des virus est radioactif. Cela signifie que c'est l'ADN des virus qui rentre dans les bactéries: les gènes des virus sont constitués d'ADN.

L'influence d'un grand physicien

De nombreux biochimistes impliqués dans la découverte de l'ADN ont été inspirés par un livre publié en 1944 par un grand physicien, spécialiste de la constitution des atomes, E. Schrödinger. Dans ce livre, intitulé «qu'est ce que la vie» (et toujours en vente actuellement), E. Schrödinger se propose de réfléchir sur les particularités de la vie par rapport à la matière inerte.
Même si son livre contient des erreurs (il a été écrit en 1944), il lance toutefois l'idée qu'il est possible de connaître la nature chimique des gènes, il remarque que dans les cellules « «l'ordre est fondé sur l'ordre» . Il propose que cet «ordre» corresponde à une «information génétique» (il est un des premiers à parler d'information) qui permet de «mettre en place et transmettre la forme des organismes». Reprenant les résultats d'un autre grand physicien participant aussi à des recherches en génétique, Max Delbrück, Schrödinger propose que le support de cette information génétique soit une molécule spéciale, un «cristal apériodique» contenant sous la forme d'un code (une idée précieuse) l'organisation de la cellule.

32 - La structure de l'ADN explique ses propriétés

Plusieurs chercheurs et laboratoires concurrents vont tenter, au début des années 1950, d'établir la structure de la molécule d'ADN, afin de comprendre comment cette molécule peut transmettre les caractères héréditaires. Un élément déterminant est apporté par le biochimiste E. Chargaff en 1949: ce dernier montre que bien que la composition précise de l'ADN change selon les êtres vivants et les espèces, on retrouve toujours une égalité entre les quantités d'Adénine et de Thymine d'une part, de Guanine et de Cytosine d'autre part. On a donc toujours, en quantités, A=T et C=G. reste à expliquer pourquoi.

Aux USA, un chercheur déjà célèbre et de grand talent, Linus Pauling, essaye d'établir la structure de l'ADN. En Angleterre, une équipe concurrente se forme: elle comprend Francis Crick, physicien et biologiste, James Watson, un jeune biochimiste américain (1), ainsi que Maurice Wilkins et son «assistante» Rosalind Franklin (2), qui eux sont capables de réaliser des photographies de cristaux d'ADN utilisant les rayons X et donnant des indications précieuses sur la géométrie de cette molécule.





M. Wilkins dans son laboratoire, F. Crick et J. Watson à Cambridge et Rosalind Franklin, tous quatre à l'époque où ils découvrirent la structure de l'ADN, le «secret de la vie». Photos Wikimedia

Ces photographies montrent que la molécule d'ADN a la forme d'une hélice. Crick découvre qu'il s'agit d'une double hélice, et Watson montre que le centre de l'hélice est occupé par les fameuses bases unies deux à deux, A se liant à T et G à C. La découverte de Chargaff est alors expliquée.

Ainsi, après bien des tâtonnements (3), Watson et Crick, utilisant les données de l'équipe de Wilkins et les découvertes de Chargaff, construisent en 1953 un modèle de la molécule d'ADN (4). Ils se rendent compte immédiatement que leur modèle est le bon (c'est-à-dire qu'il correspond à la réalité), car il permet facilement d'expliquer comment l'ADN se recopie et de quoi est constituée l'information génétique. Ce modèle a, depuis, été amplement confirmé. Voici ce qu'il nous a appris.

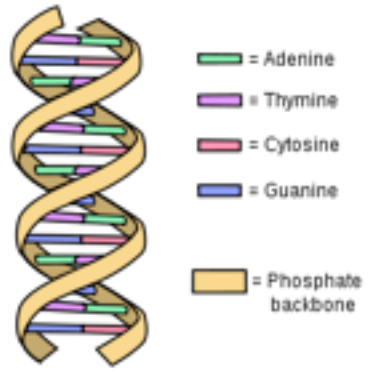


Schéma d'un morceau d'ADN (DNA en anglais) montrant l'enroulement de la molécule en double hélice, les bases étant au centre et liées deux à deux. Schéma NIH.

La molécule d'ADN est formée de 2 chaînes qui se font face et qui sont enroulées en double hélice (voir schéma ci-contre). Un brin peut être décrit comme une suite de nucléotides, ces derniers constituants l'unité de base de l'ADN et comportant:

G – D – P

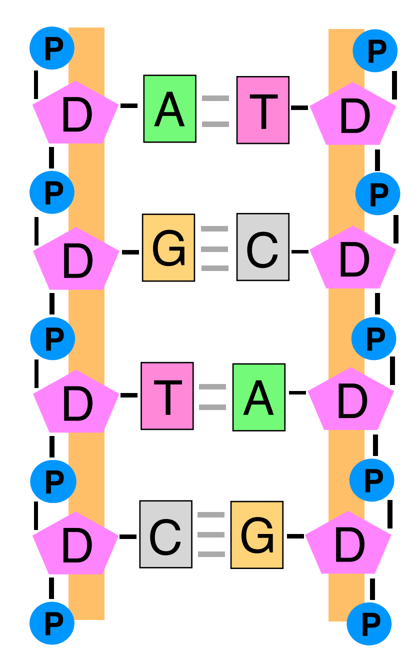
- une molécule de sucre (désoxyribose - *D, en rose sur le schéma*)
- du phosphate (H_3PO_4 - *cercle bleu marqué P sur le schéma*)
- une des 4 bases azotées (cytosine, thymine, adénine, guanine - *ici la Guanine G est donnée comme exemple, le nucléotide représenté étant nommé Guanosine.*)

Chacun des deux brins de la molécule est formé d'une chaîne de nucléotides.
Les deux brins sont liés par des liaisons "faibles" (fragiles) qui unissent les bases azotées deux à deux:

- A est toujours reliée à T,
- C est toujours reliée à G,

et cela, quel que soit l'être vivant considéré, de la bactérie à l'éléphant !

Les deux «brins» se tordent de façon à former une double hélice dont les montants sont une suite sucre-phosphate et les barreaux les couples de bases AT ou GC.



Dans une molécule d'ADN, chaque brin (matérialisé par la bande orange) est formé d'une chaîne de nucléotides reliés par des liaisons covalentes (solides ! - traits noirs). Par contre, les deux brins sont liés par des liaisons plus fragiles (en gris pale) qui unissent les bases azotées deux à deux (A-T et C-G). Les deux «brins» se tordent de façon à former une double hélice.

33 - L'information génétique est constituée par l'ordre des nucléotides.

Avec 4 bases différentes, on en peut pas former de mots bien compliqués, mais, par contre, des phrases d'une longueur quasi illimitée: la suite des nucléotides le long d'un brin de la molécule peut être décrite comme un message écrit dans un code à 4 lettres (A, T, C et G).

L'ordre dans lequel se succèdent les nucléotides sur l'un des brins de l'ADN constitue une séquence de nucléotides spécifique à chacun d'entre nous (5).
Un gène correspond donc à un morceau d'ADN portant une séquence particulière de nucléotides correspondants à un ou plusieurs caractères héréditaires.

TATATATATAGCATCTCTCTCTCGAGATATTTCGTTAGCC
CTTAGCGCGCTATATACTCGTGTGCGTTGAATGGGAT
ATCGTATAGGGCTCTCTTAAATCTCTCTCTCTCTCTCAG

Fragment de gène: une très longue suite de nucléotides (ici lue sur un brin) correspondant à une information. L'ADN d'un humain compte environ 3 milliards de paires de bases...

---

1 - Très doué, passionné par deux choses: l'ADN et les jeunes filles anglaises. Lors d'un congrès sur l'ADN, il n'écouta rien de ce qui se disait, fasciné par les étudiantes présentes. Lorsque Crick l'interrogea, il lui donna des réponses approximatives, et leur premier essai fut, à cause de cela, un échec... être attentif en cours malgré toutes les «distractions» est utile à tout âge!

2 - R. Franklin joua un rôle déterminant, mais a été peu considérée, car c'était une femme... Watson, Crick et Wilkins reçurent le prix Nobel, Franklin était, entre temps, morte à 30 ans d'un cancer provoqué par les rayons X qu'elle avait utilisé pour étudier l'ADN. Modeste, elle ne revendiqua pas sa part méritée de gloire, déclarant que « les joies de la science résident dans le travail lui-même , la récompense finale est le progrès du genre humain». Wilkins, son «patron» censé avoir effectué le même travail, s'est éteint tranquillement à l'âge de 88 ans...

3 - dont un modèle réalisé en fait «à l'envers» qui amuse beaucoup R. Franklin.

4 - un modèle, en science, est une approche la plus fidèle possible de la réalité.

5 - Où plutôt spécifique à une espèce, ce qui correspond d'ailleurs au sens premier de ce mot: entre deux humains pris au hasard, l'ADN est identique à 99,9 %

34 - Les modifications de la séquence de l'ADN provoquent des changements au niveau des gènes, expliquant ainsi l'existence des allèles.

En 1900, le professeur de botanique Hugo de Vries, à Amsterdam, redécouvre le mode de transmission des caractères héréditaires déjà mis en évidence par Mendel 35 ans auparavant... De Vries, toutefois, diffère de Mendel sur un point: au lieu d'envisager qu'à un caractère correspond un couple «d'unités transmissibles» (de gène, dans la terminologie actuelle), il propose qu'un grand nombre de caractères héréditaires différents soient liés à une seule unité qu'il appelle un «pangène». De Vries veut tester son hypothèse (1) de la façon suivante: si les «pangènes» existent, alors une variation héréditaire d'un ou de plusieurs «pangènes» doit conduire à des changements brusques dans la descendance (et même à l'apparition brutale d'une nouvelle espèce) car comme les «pangènes» (2) sont censés correspondre à tout un ensemble de caractères, un changement dans un «pangène» aura des conséquences sur de nombreux caractères en même temps.

Pour détecter ces changements, il cultive et observe un très grand nombre de plantes (2) afin de découvrir si de nouveaux caractères apparaissent et si leur survenue est progressive ou brutale. L'idée de cette expérience provient d'une observation montrant que des fleurs importées d'Amérique, et redevenues sauvages, avaient spontanément développé des variétés nouvelles, naines. De Vries constate l'apparition de caractères nouveaux, qui n'ont jamais été présents chez les parents de ses plantes (3) mais qui apparaissent brusquement dans leur descendance et sont transmissibles. Ces changements brutaux, De Vries les appelle mutations, et pense qu'ils sont le moteur des modifications observées au cours de l'évolution des espèces.

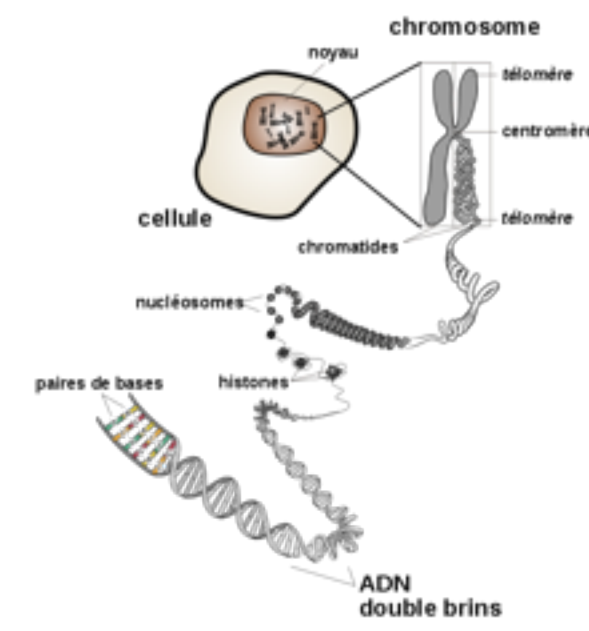
Que sont donc ces fameuses mutations au niveau de l'ADN ? Tout simplement un changement de la séquence de l'ADN (4). Ceci permet donc de relier la suite des bases de l'ADN (la séquence) et les caractères correspondant aux gènes. L'information génétique n'est donc pas autre chose que la séquence des bases de l'ADN.

Comment se produisent les mutations ? De nombreux facteurs provenant de l'environnement (rayonnements UV, agents chimiques) ainsi que des erreurs lors du recopiage de l'ADN des chromosomes (5) ou de leur appariement (6) favorisent et provoquent les mutations.

Pour un même gène, une modification d'un seul nucléotide (une seule "lettre" du code, une Adénine remplacée par une Cytosine, par exemple) peut être à l'origine de différences importantes au niveau des caractères liés à ce gène.

L'existence des mutations cause donc une certaine variabilité de l'information génétique. C'est ainsi que peuvent apparaître plusieurs versions, légèrement différentes, d'un même gène: il s'agit, vous l'aviez deviné, des allèles du gène en question.

Encore faut-il qu'une mutation qui touche un individu soit transmissible à sa descendance! Ce n'est pas toujours le cas. Si une mutation rend une cellule cancéreuse, par exemple, cette modification ne pourra pas être transmise à la descendance de l'individu. Seule une mutation affectant l'ADN des gamètes (ou de la cellule-oeuf à l'origine d'un nouvel individu) pourra être transmise à la descendance de l'individu.



Une nouvelle vision des gènes: Un gène est une information constituée par la séquence des paires de bases de l'ADN. Cette molécule, dans le noyau des cellules, s'entortille autour de nombreuses protéines (les «histones» du schéma) et s'organise, lorsque la cellule va se reproduire, en unités, les chromosomes. Avant de former les chromosomes, l'ADN doit s'être recopié. Comment ? Vous avez encore deux ans pour le savoir...



Chez les chevaux, le caractère «champagne», qui se manifeste par un éclaircissement de la couleur, des yeux bleus chez les poulains (A, B, C) et des marbrures colorées chez l'adulte (D et E) résulte d'une mutation touchant un seul nucléotide d'un seul gène. Cette mutation ayant touché les gamètes d'un individu, elle se transmet depuis de façon héréditaire. *Photo D. Cook, & al. PLOS Genetics n°4 (9) 19/09/2008.*


Certaines cellules de cette tulipe ont subi une mutation responsable du changement de couleur d'un pétale. Toutefois, cette mutation ne touche qu'une partie d'un organe (les pétales) qui ne fabrique pas de gamète: elle ne sera donc pas transmise à l'éventuelle descendance de la fleur. *Photo Dmccabe - wikimedia*

1 - En sciences, toute hypothèse qui ne peut être testée d'une façon ou d'une autre reste une vue de l'esprit, parfois très intéressante, mais en attente de confirmation... ou de réfutation. Vous avez fait connaissance avec les mutations en troisième, en étudiant l'évolution. Comment ? La fin de l'année vous a empêché de bien la voir ? Voyez donc le manuel 3éme...

2 - Les pangènes n'existent pas, malgré le succès des expériences de De Vries: en sciences; les résultats expérimentaux peuvent être interprétés de plusieurs façons, et doivent être cohérents et compatibles avec d'autres résultats d'expériences... Les erreurs de De Vries ont cependant été extrêmement utiles, montrant encore une fois que faire des erreurs est le seul moyen de faire progresser les sciences (voilà qui vous consolera de vos futures mauvaises notes...)

3 - Les plantes en questions étaient des Onagres (Oenothera Biennis de leur petit nom), aussi appelée «herbe aux ânes»... Pendant 10 ans, De Vries en cultiva plus de 50000...

4 - je rappelle que la séquence n'est autre que la suite des nucléotides le long de l'ADN. Les mutations sont des espèces de «fautes d'orthographe» dans l'ADN.

5 - Si vous avez déjà du recopier des textes à l'occasion d'une punition (ou en réalisant un exposé, ou en prenant des notes....) vous savez à quel point il est facile de se tromper en recopiant. Il en est de même au niveau moléculaire, lorsque l'ADN se recopie. C'est d'ailleurs la source de la plupart des erreurs. Rassurez-vous, vos cellules ont des systèmes de sécurité pour empêcher les plus graves erreurs...

6 - L'appariement étant le rapprochement des chromosomes, en ligne pour les cellules somatiques et en couples lors de la division cellulaire conduisant aux gamètes...

35 - l'ADN est un «dénominateur commun» pour tous les êtres vivants. (1)

Il est rapidement apparu que l'on pouvait extraire de l'ADN de tous les êtres vivants connus. Par la suite, la présence d'ADN constituant les gènes de toutes les cellules, de la plus infime bactérie à la baleine bleue, en passant par les végétaux et les champignons, a été largement confirmée et établie. De plus, non seulement TOUS les êtres vivants utilisent l'ADN, mais ils partagent de très nombreux gènes en commun (2). Pourquoi cela ?

La seule explication logique fait appel à un (ou plusieurs) ancêtres communs: tous les êtres vivants actuels utilisent l'ADN car ils descendent tous de premières formes de vies (3) qui elles aussi ont utilisé l'ADN. Cette «universalité» de l'ADN est un indice très fort (4) en faveur de l'existence d'un ancêtre commun (et très lointain) à toutes les formes de vies de la planète Terre.

Une vérification de cette universalité est apportée par les techniques de transfert de gène (ou transgenèse - 5): tous les gènes étant constitués d'ADN, il est possible expérimentalement d'extraire ("couper") un gène d'un organisme et de l'intégrer (le "coller") dans un autre organisme qui va ainsi exprimer le caractère correspondant au gène (6), par exemple la fabrication de certaines molécules. L'organisme que l'on obtient est dit «transgénique» ou «génétiquement modifié» (7). Ces transferts de gènes permettent aux chercheurs d'étudier le fonctionnement des gènes. Ils ont aussi débouché sur la production industrielle de médicaments, ou la mise au point de nouvelles variétés de plantes ou d'animaux. Les quelques exemples mentionnés dans le tableau ci-dessous montrent que les gènes fonctionnent de la même façon dans des espèces extrêmement différentes, montrant a quel point l'ADN unifie le vivant depuis son origine.

Donneur du gène	Receveur du gène	Caractère correspondant au gène transmis	Intérêt
Humain	Bactérie	Production de l'hormone de croissance humaine Production de l'insuline humaine	Permet de soigner le nanisme ou de corriger une trop petite taille. Permet de soigner certaines formes de diabète.
Bactérie	Maïs	Production d'une molécule toxique pour certaines chenilles.	Le maïs obtenu (variété Bt) nécessite beaucoup moins d'insecticides lors de sa culture.
Humain	Brebis	Production d'une molécule permettant de soigner une maladie pulmonaire humaine, l'emphysème.	La molécule obtenue est isolée à partie du lait de la brebis (et de tous ses enfants).
Anémone de mer	Poisson	Production d'une molécule fluorescente dans la peau	obtention de poissons détecteurs de pollution (et pour le fun!)

L'ADN se retrouve donc dans les gènes de toutes les cellules des êtres vivants, mais ces cellules, comment sont-elles construites ? Vous savez que les gènes sont situés dans le noyau, mais que se passe t'il dans le cytoplasme ? Les transformations chimiques à l'origine du vivant se produisent elles n'importe où dans la cellule ? Parallèlement à l'étude de la chimie des gènes, de nombreux scientifiques se sont attachés à étudier finement la morphologie des cellules afin d'essayer d'en éclairer le fonctionnement.

1 - Certains virus ne contiennent pas d'ADN, mais de toute façon ils sont forcés d'en faire fabriquer pour se reproduire...

2 - Si vous avez 99,9% de gènes identiques à celui d'un autre humain de même sexe, vous en partagez 99% avec le chimpanzé lambda (du même sexe) et 70% avec l'éponge de mer, oui, Bob est votre lointain cousin...

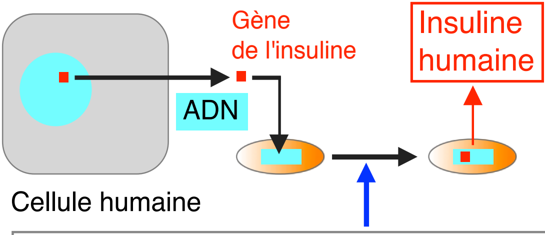
3 - Une seule ou quelques-unes, le débat n'est pas tranché.

4 - Un indice aussi fort s'appellerai une preuve en justice, surtout si l'on ajoute que l'analyse de la séquence des gènes permet, de nos jours, de voir comment ils se sont modifiés au cours de leur histoire

5 - Qui peut parfois se produire naturellement - voir exercice 6

6 - Ce gène d'origine étrangère est appelé un «transgène»

7 - Il existe une polémique sur l'utilisation des OGM en agriculture et élevage, des compléments à ce sujet seront disponibles sur le site en janvier, et votre professeur vous en dira plus...



La transgenèse vérifie que l'ADN caractérise tous les êtres vivants: si l'on insère un gène humain correspondant au caractère «production d hormone 'insuline» dans une bactérie (quand même différente des humains, non ?), le gène va fonctionner comme dans une cellule humaine et va faire produire de l'insuline à la bactérie. Toutes les bactéries descendantes de cette bactérie transgénique produiront, elles aussi, de l'insuline (le caractère est bien héréditaire).

Résumé *des épisodes précédents...*

Tous les êtres vivants sont formés de molécules similaires contenant principalement les éléments C, H, O et N (azote), ainsi que du Phosphore et du Soufre. Les spécificités des êtres vivants s'expliquent à partir des molécules dont ils sont constitués. Ainsi, les gènes sont constitués d'une très longue molécule l'ADN, en forme de double hélice, dont le centre est occupé par des paires de bases AT et CG. L'information génétique est représentée par la suite des bases, appelées séquence: une variation de cette séquence, appelée mutation, entraine un changement correspondant dans les caractères correspondant au gène modifié..
Cette unité chimique élémentaire et moléculaire du vivant est un indice supplémentaire de l'existence, au début de la vie, d'un ancêtre commun à tous les êtres vivants

Des documents pour compléter, comprendre et réfléchir...



La double hélice, livre écrit par James Watson, et des découvreurs de l'ADN, et racontant cette histoire. (On en a fait un téléfilm, le secret de la vie, mais qui n'existe qu'en version anglaise sous-titrée : *The Race for the Double Helix* (1986) avec Jeff Goldblum).

- Le manuel SVT de troisième, pour réviser la génétique !
- L'excellent article de Wikipédia sur l'ADN

Il était une fois l'ADN un site illustré avec quelques animations. Très grand intérêt pour l'histoire de la découverte des gènes.

ⓘ Avant d'aborder les exercices...

Certains exercices peuvent vous paraître difficiles. C'est normal, leur but étant non seulement de vérifier si vous avez compris les notions présentées, mais aussi de vous faire utiliser ces notions pour résoudre des difficultés imprévues, de vous faire réfléchir en utilisant le cerveau remarquable (oui, vous le saviez, je le confirme) dont les hasards de l'évolution ont doté notre espèce.

Vous constaterez aussi que la résolution des exercices implique d'utiliser vos connaissances des années précédentes en SVT, mais aussi ce que vous avez appris en physique, en mathématique, en histoire, en anglais même... La capacité à utiliser des connaissances différentes pour résoudre un problème est une des caractéristiques du scientifique.

Questions

1/Qu'est-ce qu'un élément ?
2/Quels sont les éléments qui composent les êtres vivants ?
3/Qu'est ce qu'un gène ?
4/Que signifie le terme ADN ?
5/Que vérifient les opérations de transgénèse ?
6/Qu'est-ce qu'un nucléotide ?
7/ 🏛 Pourquoi a t'on pu croire si longtemps que les êtres vivants possédaient une force particulière, la «force vitale» qui expliquait leurs propriétés?
8/ Qu'appelle t'on métabolisme ?
9/ Qu'est-ce qu'une enzyme ?

Colles

1/ Comparer et montrer les différences entre élément, atome, molécule, cellule
2/ Résumer en une phrase la structure de l'ADN
3/ Montrer, au moyen de définitions successives (qui correspondent à celles que vous avez apprises), comment la notion de gène se précise de Mendel à Watson & Crick.
4/ En quoi la chimie du vivant constitue t'elle un indice très fort en faveur de l'existence d'un ancêtre commun à toutes les formes vivantes actuelles ?
5/ Donner un exemple montrant que le métabolisme d'une cellule est influencé par son environnement.
6/ En 1772, le scientifique Joseph Priestley découvre, en mesurant les variations de volume d'air dans une cloche flottant sur de l'eau et contenant un animal, que le volume de l'air se réduit au maximum de 1/5 après que l'animal ait respiré ce volume jusqu'à ce que mort s'ensuive. Expliquez ce résultat.

Exercices

1 L'Homme, cet inconnu (2 pts)

Sir Arthur Conan Doyle n'est pas seulement le père du célèbre détective Sherlock Holmes, mais aussi d'un autre personnage de fiction, un scientifique «pur et dur», le Professeur Challenger. Dans une de ses aventures («au pays des brumes»), il déclare à sa fille: «*Quatre seaux d'eau et un sachet de sels ! Voilà ce qu'est ton père, fillette!*».

Pourquoi cette affirmation ? (*Une précision: en 1900, époque de Challenger, le mot «sels» désignait tous les types de substances chimiques solubles dans l'eau, et pas seulement le sel de cuisine!*)

2 - Lavoisier fermente (10 pts)

En 1789, Antoine Lavoisier (1743-1794), dans son Traité élémentaire de chimie, décrit la «fermentation vineuse» comme une division, réalisée par un «ferment» du sucre en deux portions (alcool et acide carbonique).

21 - Après avoir précisé quel est le nom moderne de l'acide carbonique, précisez ce qu'est ce «ferment» dont parle Lavoisier. (2 pts)

22 - L'expérience réalisée par Lavoisier est décrite ainsi dans «Ferments et maladie»,de E. Duclaux, le collègue de Pasteur, en 1880:

«L'expérience qu'il (Lavoisier) a faite pour cela est aussi simple que probante. Sur une bonne balance, il pèse un vase rempli d'eau dans laquelle il a dissous un poids connu de sucre et ajouté un peu de levures pour y provoquer une fermentation alcoolique régulière. Au bout de quelque temps, lorsque tout est terminé, il pèse de nouveau le même vase et mesure, par la perte de poids subie, l'acide carbonique dégagé. Il isole ensuite par des distillations successives l'alcool formé, le pèse, et trouve enfin que la somme des poids de l'alcool et de l'acide carbonique reproduit à très peu près, le poids du sucre primitif. La fermentation est donc un simple dédoublement du sucre en alcool et en acide carbonique.»

221 - Réalisez un schéma décrivant l'expérience de Lavoisier. (4 pts)

222 Reconstituez le raisonnement de Lavoisier afin d'interpréter le résultat de l'expérience réalisée (4 pts)

3 - Matière, lumière et métabolisme (6 pts)

Les chlorelles sont des algues unicellulaires qui ne se développent (grandissent et se reproduisent) qu'en présence de lumière et de CO_2, rejetant alors de l'O_2.

31 Quel est le métabolisme caractérisé par ces transformations chimiques ? (1 pts)

32 Que va t'il se passer pour les chlorelles si la quantité de lumière ou de CO_2 dans l'environnement diminue ? (1 pts)

33 Pourquoi peut-on dire que le métabolisme des chlorelles est sous l'influence de l'environnement de ces unicellulaires ? (4 pts)

4 - Cheval mon ami (6 pts)

Vers 1864, Felix Hoppe-Seyler utilise 20 litres de sang de cheval pour obtenir les premiers cristaux d'hémoglobine, la molécule qui donne sa couleur rouge au sang (et lui permet de transporter le dioxygène). Hoppe-Seyler découvre alors qu'une seule molécule d'hémoglobine (qui est une protéine) contient environ 600 atomes de carbone et toujours un atome de fer.

41 - Dans les circonstances normales, dans quelles cellules se trouve l'hémoglobine ? (1 pts)

42 - Comparez les molécules carbonées que vous connaissez à l'hémoglobine. (2 pts)

43 Vous connaissez les modèles moléculaires en plastique, où des sphères colorées symbolisent les différents atomes. Si avec un de ces modèles, la représentation d'une molécule de CO_2 mesure 3 cm de long, quelle serait la taille approximative d'un modèle d'une molécule d'hémoglobine à la même échelle ?

44 Une grande boite de modèles moléculaires, d'un tarif de 120 €, ne contient que 30 modèles d'atomes de carbone: combien de boites faut-il commander pour construire un modèle de la molécule d'hémoglobine, et combien tout cela va t'il nous coûter ? (*1 pt, quand même, faut pas exagérer....*)

45 Quelle différence semble donc exister entre les molécules caractérisant les êtres vivants et celles du monde minéral ? (2 pts)

5 - Maneken piss (10 pts)

Dans les années 1870, Frédéric Alphonse Musculus (un nom sans doute difficile à porter) réalise de nombreuses expériences sur les fermentations, en particulier à partir d'un liquide facilement disponible, mais peu ragoûtant, l'urine.

Il arrive en effet que l'urine, laissée à l'air, fermente avec production non pas d'alcool (cela se saurait!) mais de molécules contenant de l'ammoniac à l'odeur forte (et caractéristique!)

En 1876, Musculus écrit dans les Comptes rendus de l'Académie des sciences (vol. 82, 1876, p. 333-336):

«J'ai décrit un papier réactif avec lequel on peut reconnaître l'urée en solution même très étendue (*diluée*). Je l'avais obtenue en filtrant de l'urine devenue ammoniacale, en lavant le filtre à l'eau distillée et le colorant avec du curcuma (*une épice*). Ce papier contient dans ses pores une petite quantité de ferment qui peut se conserver ainsi très longtemps. J'en possède qui, après deux ans, n'a encore rien perdu de son activité. Quant on trempe ce papier dans une solution d'urée et qu'on le met ensuite à l'air, devient brun au bout de quelques minutes. Ce changement de couleur se produit sous l'influence du ferment qui métamorphose l'urée, corps neutre sans action sur le papier de curcuma, en carbonate d'ammoniaque, corps doué d'une réaction fortement alcaline (*basique*).

51 - Le papier coloré avec l'épice curcuma joue le rôle, à l'époque de Musculus, d'un autre papier que vous connaissez bien, lequel ? Comment réagit ce papier au curcuma ? (2 pts)

52 - Musculus explique les réactions de son papier grâce à l'action d'un ferment. Présentez une hypothèse argumentée (en fonction de vos connaissances et des données fournies) sur la nature de ce ferment. (5 pts)

53 - Dans la suite de son texte, Musculus, pas dégoûté, précise:

«Toutes les urines ne sont pas aptes à fournir du ferment (...) Les plus riches en ferments sont les urines épaisses, filantes et ammoniacales, rendues par les malades de catarrhe (*infection grave*) de la vessie».

Cette précision conforte t'elle votre hypothèse ? (Expliquez pourquoi). (3 pts)

6 - Expériences et interprétation (4 pts)

En 1928, Griffith avait déduit de ses expériences qu'un «principe transformant» était passé des bactéries S au bactéries R, ce qui les avait rendues virulentes. Ce «principe» était du matériel génétique. À présent que vous en savez davantage que Griffith, expliquez donc ce qui s'est passé, au niveau moléculaire, lors de cette expérience et donnez une hypothèse permettant d'expliquer comment les inoffensives bactéries R sont devenues de dangereuses bactéries S.

7 - Réflexions sur l'ADN (8 pts) - Attention! EXERCICE «LIMITE» déconseillé aux mous du bulbe!

Chaque molécule d'ADN comporte deux brins, ces derniers étant complémentaires : si on a une suite ATTGC sur un brin, on va avoir sur le brin «en face» TAACG, représentant le même «ordre» exprimé d'une autre façon (puisque l'on a toujours A en face de T et C en face de G).

71 - Quels avantages voyez-vous à ce que l'information soit ainsi conservée, dans une molécule d'ADN, en «double exemplaire» ? (4 pts)

72 - Imaginez que les deux chaines d'une molécule d'ADN se séparent. Chacune d'elle peut servir de modèle pour reconstruire une autre chaine, ce qui va permettre.... quoi, au juste ? (4 pts)

8 - R. Bacon (4 pts)

Entre 1250 et 1270, l'homme de science Roger Bacon, ancien moine, écrit de nombreux livres et se préoccupe à la fois de réflexions philosophiques et de recherches scientifiques. Parfois considéré comme le plus grand scientifique du moyen-âge (on le surnommait le «docteur admirable»), il a été toutefois persécuté, car il affirmait que la raison et l'expérience étaient d'une validité supérieure à celle à accorder aux sources religieuses. Bacon voyait quatre obstacles aux progrès des sciences:

1 - Des autorités incompétentes

2 - de vieilles habitudes, des coutumes

3 - une opinion publique ignorante

4 - La dissimulation de l'ignorance individuelle sous un étalage apparent de sagesse.

D'après les informations que vous avez concernant l'histoire des sciences, les obstacles relevés par Bacon vous semblent-ils toujours d'actualité 8 siècles après ?

Rules, Brittania

Traduisez le paragraphe suivant, qui est une citation de J. Watson parue en 1983 dans le magazine scientifique «Nature» concernant Oswald Avery:

«Both Francis and I had no doubts that DNA was the gene. But most people did. And again, you might say, 'Why didn't Avery get the Nobel Prize ?' Because most people didn't take him seriously. Because you could always argue that his observations were limited to bacteria, or that [the transformation of Pneumococcus that he described was caused by] a protein resistant to proteases and that the DNA was just scaffolding."

Corrections

Questions

1/ En chimie, un élément est une catégorie d'atomes qui possèdent, dans leur noyau, le même nombre de protons (oui, il fallait réviser sa chimie pour le savoir!). Plus simplement, un élément correspond à un type d'atome aux propriétés caractéristiques, et qui se range dans le fameux «tableau périodique des éléments» qui se doit de décorer toute salle de science! Le fer, l'oxygène, l'uranium sont des éléments.

2/ Les éléments qui composent les êtres vivants sont principalement le carbone (C), l'oxygène (O - et pas le dioxygène, qui lui est une molécule, et pas un élément...), l'azote (N) et l'hydrogène (H). Si on veut être plus complet, on notera la présence, en plus petite quantité, de Phosphore (P) et de soufre (S).

3/ Un gène est un morceau d'ADN (et donc une certaine séquence de nucléotides) correspondant à un caractère héréditaire.

4/ Le terme ADN est l'acronyme (oui, on dit comme ça!) d'Acide Désoxyribo-Nucléique. «Acide», car une solution d'ADN a un pH un peu inférieur à 7; «Désoxyribo», car la molécule contient des désoxyriboses (de la famille des sucres); et «Nucléique» car on la trouve dans le noyau (nucleus, en latin) des cellules. En anglais, on parle de DNA.

5/Les opérations de transgénèse vérifient qu'un gène humain, par exemple, est parfaitement utilisable par une bactérie. Cela signifie que ces deux organismes, pourtant très différents, utilisent de l'ADN, et qu'ils le font de la même manière. Cela ne peut s'expliquer que si l'on fait l'hypothèse que, dans un passé lointain, Humains et bactéries ont eu un ancêtre commun (qui ressemblait bien plus à une bactérie, d'ailleurs).

6/ Un nucléotide est une molécule dont l'enchainement forme l'ADN (cette molécule comprend du phosphate, un sucre et une base azotée parmi les 4 disponibles)

7/ Les scientifiques ont longtemps cru que les êtres vivants possédaient une force particulière, la «force vitale» car les propriétés des êtres vivants semblent très différentes de celles du reste de la matière: ils sont capables de se reproduire, il fabriquent de nombreux produits que l'on ne peut trouver sans eux (le lait, les oeufs, la laine, l'urine...). De plus, les êtres vivants doivent se nourrir d'autres êtres vivants (hors les végétaux, dont la nutrition est longtemps restée mystérieuse). Ce sont ces propriétés spécifiques du vivant qui laissent facilement penser que le vivant doit aussi être spécifique dans sa matière et son fonctionnement, puisqu'il est spécifique dans ses fonctions (*oui, je sais, relisez lentement cette phrase et vous allez en comprendre le sens, vous pouvez même l'apprendre et la balancer en cours, tiens, cela vous vaudra des applaudissements, enfin, peut être*). On ne doit pas aussi négliger les traditions religieuses qui mentionnaient une création divine séparée des êtres vivants et des objets matériels, ni la volonté humaine de se croire non seulement différent des autres animaux, mais aussi du monde inerte des minéraux. Et pourtant...

8/ Le métabolisme est l'ensemble des transformations chimiques qui se déroulent dans une cellule. Par extension, on parle aussi de métabolisme pour désigner l'ensemble des transformations chimiques liées à une fonction particulière: métabolisme de la respiration, ou de la fermentation, désigne ainsi l'ensemble des transformations chimiques relatives à ces opérations.

9/ Une enzyme est une molécule qui permet que se réalisent des transformations chimiques précises.

Colles

1/ Un élément est une catégorie d'atomes (plusieurs atomes de composition interne légèrement différente, mais possédant les mêmes propriétés chimiques), un atome est la plus petite particule de matière (en seconde...), une molécule est un assemblage d'atomes liés entre eux, et une cellule est un être vivant constitué par l'assemblage dynamique de millions de molécules en interaction avec leur environnement.
Note: en seconde, vous pouvez confondre atome et élément sans que cela vous porte préjudice...

2/ L'ADN est une molécule en forme de double hélice, formée de l'enchainement de millions de nucléotides formant deux «montants» de sucre et phosphate reliés par des bases azotées liées deux à deux selon une correspondance fixe, l'Adénine se liant à la thymine et la cytosine à la Guanine (vous n'avez pas à retenir le nom des bases, dans un premier temps leur initiales peuvent suffire... mais autant savoir de quoi l'on parle, non ?)

3/ La notion de gène se précise de Mendel à Watson & Crick de la façon suivante:

- Pour Mendel, un «gène» (ce mot n'existait pas encore) était *une paire d'éléments juxtaposables* (qui ne se mélangeaient pas) *situés dans la cellule et correspondant à un caractère héréditaire*.
- Ensuite, Morgan (oui, revoyez votre cour de troisième) établit qu'*un gène est un morceau de chromosome* (situé dans le noyau) *correspondant à un caractère héréditaire*.
- La découverte du rôle de l'ADN montre qu'*un gène est un morceau d'ADN correspondant à un caractère héréditaire*
- A présent, avec la découverte de la structure de l'ADN par Watson, Crick et Franklin, vous pouvez retenir qu'*un gène est une séquence de nucléotides de l'ADN correspondant à un caractère héréditaire.*

4/ La chimie du vivant constitue un indice très fort en faveur de l'existence d'un ancêtre commun à toutes les formes vivantes actuelles, car cette chimie est <u>identique</u> chez tous les êtres vivants : on retrouve, avec des gènes «interchangeables», ou presque, et toujours constitués de la même molécule, l'ADN, un nombre réduit de métabolismes identiques et une composition chimique élémentaire similaire, de la bactérie à la baleine bleue, en passant par le cèpe, le châtaignier, le renard polaire et l'huître...

5/ L'effet Pasteur est un exemple montrant que le métabolisme d'une cellule est influencé par son environnement: en présence d'O_2 dans son environnement, une cellule de levure utilise le métabolisme de la respiration, alors que si ce gaz est absent, elle utilise le métabolisme de la fermentation.

6/ Ce résultat s'explique en faisant appel à la composition de l'air et aux caractéristiques de la respiration: ce métabolisme consomme du dioxygène, et ce gaz représente environ 20% de l'air: lorsque tout le dioxygène de la cloche est consommé, le volume de gaz a donc diminué donc de 20%, soit 1/5ème...

J'entend déjà la bruyante agitation et les véhémentes objections des meilleur(e)s d'entre vous «et le CO_2 dégagé, pourquoi n'a t'il pas remplacé le dioxygène, annulant ainsi la variation de volume ?» (*si vous n'y aviez pas pensé, désolé, vous ne faites pas, encore, partie des meilleurs, mais grâce à cet excellent manuel et à votre travail, tout est possible!*). L'explication est simple: comme n'importe quelle bouteille de soda vous le dira, le CO_2 se dissout très bien dans l'eau, et a donc disparu de la cloche mesurant le volume de l'air, puisque cette dernière était retournée sur de l'eau... (*il y a aussi une explication complémentaire, mettant en jeu le volume différent occupé par ces gaz, mais cela est une autre histoire...*)

Exercices

1 L'Homme, cet inconnu

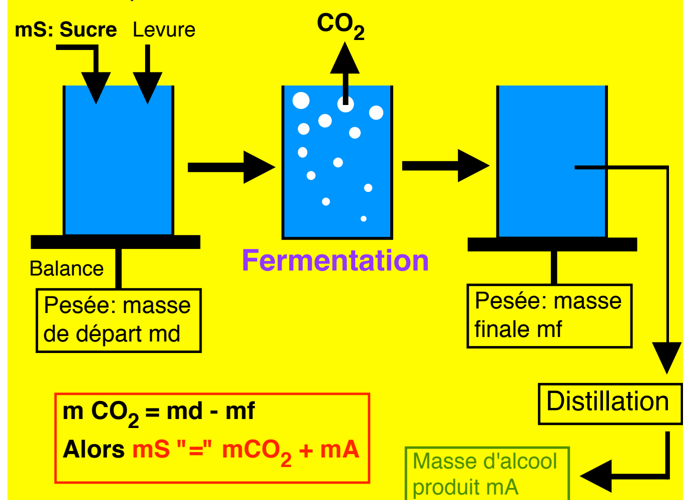
Lorsque Challenger affirme qu'il n'est que: «*Quatre seaux d'eau et un sachet de sels*», il fait référence à la composition élémentaire du corps humain, bien connue en 1900: C,H,O,N et un peu de P et de soufre, autrement dit, beaucoup d'eau (apportant H et O) et les autres éléments disponibles sous forme de «sels» solubles dans cette eau.

Cela dit, Shakespeare disait aussi que «nous sommes faits de la matière de nos rêves», ce qui mérite également réflexion, ne trouvez-vous pas?

2 - Lavoisier fermente (10 pts)

21 - Le nom moderne de l'acide carbonique est le dioxyde de carbone, notre bon vieux CO_2, produit lors de la fermentation. Le «ferment» dont parle Lavoisier est un être vivant, en l'occurrence une levure, capable de réaliser la «ferment-action».

22 - 221 - Votre schéma (Expérience réalisée par Lavoisier sur la fermentation) devrait ressembler à ceci:



222 Le raisonnement de Lavoisier se reconstitue facilement: il est basé sur la détermination des masses des différents produits (Lavoisier les «pèse»). Ainsi, Lavoisier montre que si il ajoute la masse du CO_2 qui s'est dégagé de la solution à la masse d'alcool produit *après* la fermentation, il retrouve la masse de sucre qu'il a lui-même mis dans la solution *avant* la fermentation. Cette égalité des masses: m sucre = m alcool + m CO_2, a peu de chance d'être due au hasard. Pour l'expliquer, on doit faire l'hypothèse que le sucre a réellement été «dédoublé», c'est à dire *découpé* en alcool et en CO_2 .

Remarque: Lavoisier ne trouve pas une égalité parfaite. Si vous réfléchissez à la manière dont il a mesuré le CO_2 dégagé, vous comprenez pourquoi (*j'ai dit réfléchissez avant de lire la suite, faignasse!*)

Vous avez trouvé ? Lavoisier n'a pas pris en compte le CO_2 qui est resté dissous dans l'eau... Cette imprécision ajoutée aux inévitables erreurs de mesure explique qu'il n'ai pas établi une stricte égalité dans ses résultats d'expérience, mais cela ne l'a pas empêché pour autant d'en interpréter correctement les résultats: en sciences, il faut aussi savoir tirer parti des nécessaires limitations des expériences réalisables!

3 - Matière, lumière et métabolisme (6 pts)

31 Les transformations chimiques décrites consistent dans la fabrication de molécules (pour grandir et se reproduire) à partie du CO_2 en utilisant l'énergie de la lumière et avec un rejet d' O_2 : tout cela correspond à la description de la photosynthèse.

32 Si la quantité de lumière ou de CO_2 dans l'environnement diminue, la fabrication de nouvelles molécules (de sucre, d'après le bilan de la réaction, utilisé ensuite de plusieurs façons par les chlorelles) sera moins intense, et les chlorelles se développeront donc moins vite et se reproduiront moins.

33 On peut dire que le métabolisme des chlorelles est sous l'influence de leur environnement, car il existe un lien de cause à effet entre une variation dans l'environnement (plus ou moins de lumière ou de CO_2) et l'efficacité de la fabrication de nouvelles molécules utilisées pour la croissance et la reproduction de la cellule: le métabolisme de la croissance et de la reproduction est bien sous la dépendance des éléments extérieurs que sont la teneur du milieu en dioxyde de carbone ou la luminosité.

4 - Cheval mon ami (6 pts)

Une seule molécule d'hémoglobine (qui est une protéine) contient environ 600 atomes de carbone et toujours un atome de fer.

41 - L'hémoglobine donne sa couleur au sang, qui est rouge. Le cellules présentes dans le sang et sui sont rouges sont donc les.... globules rouges! (cette question est un cadeau!)

42 - Les molécules carbonées que vous connaissez sont peu nombreuses: il y a le CO_2 et le méthane CH_4. Ces molécules ne contiennent qu'un seul atome de carbone. L'hémoglobine est donc 600 fois plus «grande) que les molécules que vous connaissez.

43 - Si avec un modèle moléculaire, la représentation d'une molécule de CO_2 mesure 3 cm de long, la taille approximative d'un modèle d'une molécule d'hémoglobine à la même échelle sera de 600 fois cette taille, puisque qu'elle contint 600 fois plus de carbone. Cela nous donnerai alors une longueur de 600x3= 1800 cm soit 18 m. Vous comprenez pourquoi vous n'avez pas de modèle de molécule d'hémoglobine dans les salles de sciences.... (*Attention, ce calcul est un calcul «à la louche» qui donne un ordre de grandeur, mais ne tient pas compte du repliement de la molécule sur elle-même. Il vous permet juste de vous faire une idée de la différence entre les molécules caractéristiques de la vie et les autres*)

44 - N'écoutant que votre courage, vous voulez malgré tout construire un modèle moléculaire de l'hémoglobine ? Si on se limite aux modèles d'atomes de carbone nécessaires (sans même parler de O, H N....) il nous faut 600/30= 20 boites, ce qui va nous coûter 20x120 = 2400 euros...

45 - La différence principale entre les molécules caractérisant les êtres vivants et celles du monde minéral semble donc bien être la taille: les molécules du vivant sont immenses, gigantesques par rapport à celles que l'on trouve dans le monde minéral. Ces molécules géantes ont reçu un nom: on les appelle des macromolécules.

5 - Maneken piss

51 - Le papier coloré avec l'épice curcuma change de couleur en présence d'un changement de pH. Il joue le rôle du papier pH actuel. Ce papier au curcuma réagit en brunissant en quelques min au contact d'un milieu basique.

52 - Quelle est la nature du ferment retenu sur le papier ? Deux hypothèses sont possibles. Ce ferment agit en réalisant une transformation chimique. C'est donc, peut-être, un micro-organisme présent dans l'urine des malades, et dont le métabolisme réalise cette transformation. Mais ce «ferment» pourrait aussi être une enzyme provenant d'un micro-organisme qui est tué lors de la réparation du papier. Cette enzyme réaliserai alors, seule et hors de tout organisme, la transformation chimique décrite par Musculus.

53 - Musculus précise, en fait, que plus l'urine est infectée et plus il va avoir de «ferment» sur son papier. Malheureusement, cette remarque conforte les deux hypothèses précédentes, et ne permet pas de choisir: si le ferment est un micro-organisme, alors il est logique que les résultats soient meilleurs si ce dernier est présent en grand nombre; mais il en est de même si ce ferment est une enzyme: davantage de micro-organismes aboutiront à la libération dans le papier de davantage d'enzyme...

En fait, une observation peut vous aider à choisir: Musculus précise que son papier conserve ses propriétés longtemps. Cette conservation s'accorde plus avec la présence d'enzymes dans le papier (ce sont de «simples» molécules) qu'avec la présence de micro-organismes qui devraient rester en vie durant cette période sans pouvoir se nourrir...

6 - Expériences et interprétation (4 pts)

Comment les inoffensives bactéries R sont-elles devenues de dangereuses bactéries S ? Dans son expérience; Griffith a mis en contact des bactéries S tuées par la chaleur avec des bactéries R. Ce mélange s'est produit avant l'injection, mais aussi dans la souris. Les bactéries R vivantes ont donc été mélangées à des débris de bactéries S. On doit faire l'hypothèse que des gènes des bactéries S, mortes, on put «passer» dans les bactéries R: il s'agit là d'une transgénèse spontanée. Vous savez maintenant qu'un gène est un morceau d'ADN. Parmi les débris des bactéries S, il y avait de l'ADN, forcément. Visiblement, ce dernier a réussi à pénétrer dans certaines bactéries R. Comme les bactéries n'ont pas de noyau, l'ADN «étranger», une fois dans le cytoplasme bactérien, a peu être pu être traité comme l'ADN de la bactérie, et a ainsi été recopié lorsque la bactérie se reproduisait, mais a également donné à la bactérie receveuse et a toutes ses descendantes le caractère héréditaire «virulent» qui lui faisait défaut.

7 - Réflexions sur l'ADN

71 - Il y a plusieurs avantages à ce que l'information soit conservée en «double exemplaire» dans une molécule d'ADN:
- s'il y a une rupture d'un brin, le brin complémentaire peut servir à «reconstruire» celui qui lui fait face.
- Plus généralement, cette information en double limite les erreurs: si par exemple un nucléotide change pour une raison ou une autre (ces détails sont loin de votre programme!), il y a une erreur de nucléotide (A remplacé par un G, par exemple), alors le T qui est en face ne peut plus se lier à l'autre brin ce qui va permettre de signaler le lieu d'un problème et peut être de le corriger.
- Lorsque les chromosomes se recopient, les gènes se recopient, donc cela signifie que l'ADN se recopie.... cette information en double pourrait sécuriser cette copie (*dans la réalité, ce n'est pas ainsi que les choses se passent, mais vous pouviez avoir légitimement cette idée*)..

72 - Si les deux chaines d'une molécule d'ADN se séparent. Chacune d'elle peut servir de modèle pour reconstruire une autre chaine. Cela permet, si on est logique, d'obtenir deux molécules d'ADN identiques à partir d'une seule, chaque brin permettant d'assembler celui qui lui fait face... Cela permet donc la copie des gènes, donc, en fait, la préparation de la reproduction d'une cellule.

8 - R. Bacon

Un peu de réflexion sur le fonctionnement du monde scientifique! Pour savoir si les obstacles relevés par Bacon sont toujours d'actualité 8 siècles après lui, il suffit de rechercher des exemples s»accordant et illustrant chacun des obstacles envisagés.

1 - Des autorités incompétentes

Sans remonter jusqu'aux difficultés de Galilée, la difficile publication des découvertes de Miescher, ou plus près de nous les difficultés de Rosalind Franklin et de Martha Chase illustrent bien que les «autorités» modernes peuvent être aussi incompétentes que les anciennes...

2 - de vieilles habitudes, des coutumes

Nous avons vu que les biologistes avaient la «coutume», la «vieille habitude» de considérer que les gènes devaient absolument être faits de protéines. Avery, Mac Leod et Mac Carty ne furent pas pris au sérieux lorsqu'ils montrèrent pourtant clairement que l'ADN des bactéries était fait d'ADN. En sciences, coutume et habitudes sont le plus souvent de mauvaises conseillères!

3 - une opinion publique ignorante

Ce point sera rapidement réglé: si, en plein moyen âge, l'opinion publique ne pouvait être informée, ne sachant pas lire, aujourd'hui que cette connaissance de base est acquise et que l'information est aisément disponible, la volonté manque souvent! D'où l'intérêt de l'enseignement des sciences à tout le monde (ce qui illustre le proverbe «prêcher pour sa paroisse, tient !). Ce point reste donc parfaitement valable, l'opinion publique ne se passionnant toujours pas (ou exceptionnellement) pour les controverses scientifiques...

4 - La dissimulation de l'ignorance individuelle sous un étalage apparent de sagesse.

Voilà aussi un obstacle qui reste d'actualité, ne trouvez-vous pas? Dans le cadre scolaire, nul doute que vous trouverez abondamment matière à l'illustrer (avec des réponses d'élèves - ou des professeurs - qui, par exemple, préfèrent répondre «ce n'est pas important» que «je ne sais pas»....)

En conclusion, Roger Bacon avait bien identifié des obstacles au progrès scientifique qui restent d'actualité, ce qui prouve à la fois la pertinence de ses réflexions et l'évolution toute relative des sociétés humaines depuis le moyen âge sur ce plan...

Rules, Brittania

Traduisons la citation de J. Watson concernant Oswald Avery:

«Both Francis and I had no doubts that DNA was the gene. But most people did. And again, you might say, 'Why didn't Avery get the Nobel Prize ?' Because most people didn't take him seriously. Because you could always argue that his observations were limited to bacteria, or that [the transformation of Pneumococcus that he described was caused by] a protein resistant to proteases and that the DNA was just scaffolding."

Une difficulté est qu'ici (comme c'est le cas généralement), on ne peut traduire mot à mot, mais il faut interpréter en français le sens des expressions et des phrases. Dans la traduction que je vous propose, j'ai coloré en vert ces «interprétations» indispensables (au bout de 4 années d'anglais, vous devriez comprendre cela).

Ce texte devient alors:

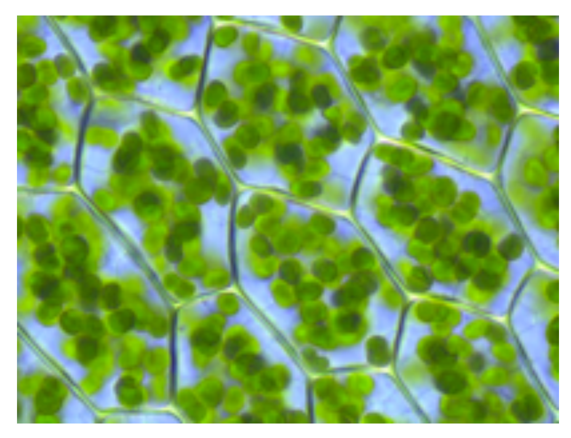
«Nous deux, Francis et moi, n'avions aucun doute que l'ADN était le gène. Mais la plupart des gens le pensaient aussi. Et de nouveau, vous pourriez dire: «Pourquoi Avery n'a pas obtenu le prix Nobel ?» Parce que la plupart des gens ne l'ont pas pris au sérieux. Parce que vous pouvez toujours faire valoir que ses observations ont été limitées aux bactéries, ou que c'était (la transformation du pneumocoque qu'il a décrite a été causée par) une protéine résistante aux protéases et que l'ADN était juste son support.»

Vous remarquerez peut être que certaines des justifications de Watson quant au manque d'intérêt pour les travaux d'Avery sont aussi valables pour eux de Hershey et Chase, bien que ces derniers aient emporté, en travaillant également sur des bactéries, la conviction de la communauté scientifique.... Il semble bien qu'en sciences, une idée suffisamment révolutionnaire, ou nouvelle, ne puisse être acceptée immédiatement, elle demande un certain temps de maturation, de généralisation, afin que les esprits se préparent au changement qui s'annonce... On peut dire que pour qu'une découverte soit reconnue, il est aussi nécessaire que le monde scientifique soit prêt à l'accueillir: la science reste une activité humaine, trop humaine...

Rappel de troisième : *Tous les êtres vivants sont constitués de cellules organisées selon le même plan général (une membrane entoure du cytoplasme dans lequel on trouve un noyau, qui contient les chromosomes), mais dont l'aspect peut varier puisqu'il existe des cellules spécialisées qui ne possèdent ni la même forme, ni la même taille (un neurone, cellule du cerveau, ne ressemble pas à une cellule musculaire ou à une cellule de peau).*

4 - La cellule est un espace limité par une membrane qui échange de la matière et de l'énergie avec son environnement.

Ce n'est qu'en 1838 que Mathias Schlieden découvre que les végétaux sont constitués de cellules, et que le noyau de ces cellules, découvert auparavant par R Brown, joue un rôle dans leur reproduction. Schlieden encourage un petit industriel, Carl Zeiss, à construire de meilleurs microscopes pour faciliter l'étude des cellules. Rencontrant le biologiste Theodor Schwann, il le pousse à examiner attentivement des organes animaux au microscope, ce dernier découvre alors en 1839 que les animaux sont faits également de cellules (1). Schwann pense que le cytoplasme doit être le lieu de transformations chimiques. C'est lui qui nomme «métabolisme» ces changements.

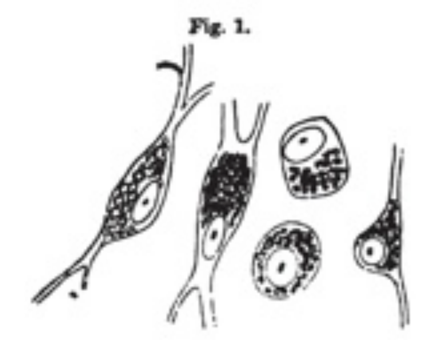


Il suffit de jeter un coup d'oeil à des cellules végétales, relativement faciles à préparer à partir des feuilles, pour observer l'existence de «sacs» verts, les chloroplastes, dans le cytoplasme; ainsi que la présence d'une paroi épaisse, qui limite et relie les cellules. Photo Kristian Peters/wikimedia

41 - Les cellules eucaryotes contiennent des organites

Même avec un microscope de mauvaise qualité, l'observation des cellules végétales permet de distinguer plusieurs «petits organes» dans le cytoplasme. Ces structures intracellulaires (dans la cellule) ont été appelées organites (2). Parmi ces derniers, des grains verts, facilement visibles, responsables de la couleur des feuilles, sont appelés chloroplastes, et dès 1862 Julius Von Sachs découvrira que c'est à ce niveau que se produit la photosynthèse (*de nombreux TP sont faciles à réaliser pour étudier le chloroplaste, votre professeur vous en a sans doute proposé un*). Un autre organite caractéristique des cellules végétales est un grand sac plein de liquide, qui occupe parfois presque tout l'espace de la cellule, la vacuole. Il apparait aussi que les cellules végétales possèdent une paroi épaisse et rigide qui en marque la limite.

L'étude des cellules animales est moins aisée (3) mais, là aussi, quelques organites sont mis en évidence grâce à divers colorants: des granules dans le cytoplasme des cellules musculaires ont été observés par Von Kölliker en 1857, mais ce n'est qu'en 1890 que Richard Altman met au point une technique qui colore ces éléments qu'il nomme «bioplastes» (4), et qui sont actuellement appelés mitochondries. En 1886, Camillo Golgi met au point une coloration qui montre un élément du cytoplasme auquel on donnera son nom, l'appareil de Golgi. Ces organites seront également observés dans des cellules végétales, bien que des différences nettes apparaissent entre ces deux types de cellules (*tableau comparatif ci-dessous*).

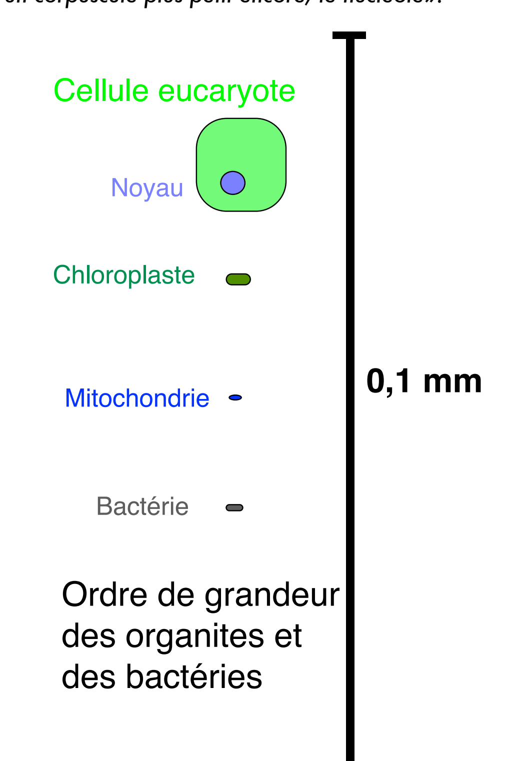


Cellules nerveuses, x 350, dessinées par Von Kölliker dans son livre «histologie humaine» de 1856, dans lequel il note: «*le contenu (des cellules) consiste en un liquide, en particules de formes diverses et en un corps arrondi, ou noyau, lequel contient un liquide et un corpuscule plus petit encore, le nucléole*».

Cellule	Animale	Végétale
limités par	une membrane souple	une paroi rigide doublée, côté interne, d'une membrane
Principaux organites	Noyau, mitochondries (réticulum endoplasmique, appareil de Golgi...)	Noyau, mitochondries, chloroplastes, vacuole, (réticulum endoplasmique, appareil de Golgi...)
Métabolisme caractéristique	Respiration	photosynthèse et respiration

L'intérieur des bactéries, par contre, ne montrait aucun détail, il est à peine visible avec des microscopes optiques (utilisant de la lumière). Cette différence d'aspect a été utilisée pour séparer les êtres vivants en deux grands groupes: les Eucaryotes, qui possèdent des cellules avec un noyau, et les Procaryotes (5).

Pour que les organites cessent de n'être que des points colorés (6), il faudra attendre les années 1950 et la généralisation d'une technique inventée en 1932 par M. Knoll et E. Ruska: la microscopie électronique (qui permet de passer d'un grossissement maximum d'environ 1000 X, pour les microscopes que vous connaissez, utilisant de la lumière, à 10000 ou 100000 X...). Il apparut alors que les organites possèdent une structure complexe, et ce, principalement dans les cellules eucaryotes.



0,1 mm correspond à 1/10 de mm, le trait le plus fin que vous pouvez tracer (une mine de critérium standard fait 0,5 mm de diamètre). C'est aussi le diamètre d'un de vos cheveux (*désolé pour les chauves, mais ils sont rares au lycée!*)...

---

1 – déjà observées auparavant par François Vincent Raspail puis Henri Dutrochet, mais ces derniers n'ont pas su généraliser et populariser leurs découvertes.

2 - Depuis 1884, à partir du mot latin organulum utilisé par Karl Möbius sous la forme organula - de quoi épater votre prof de lettres!

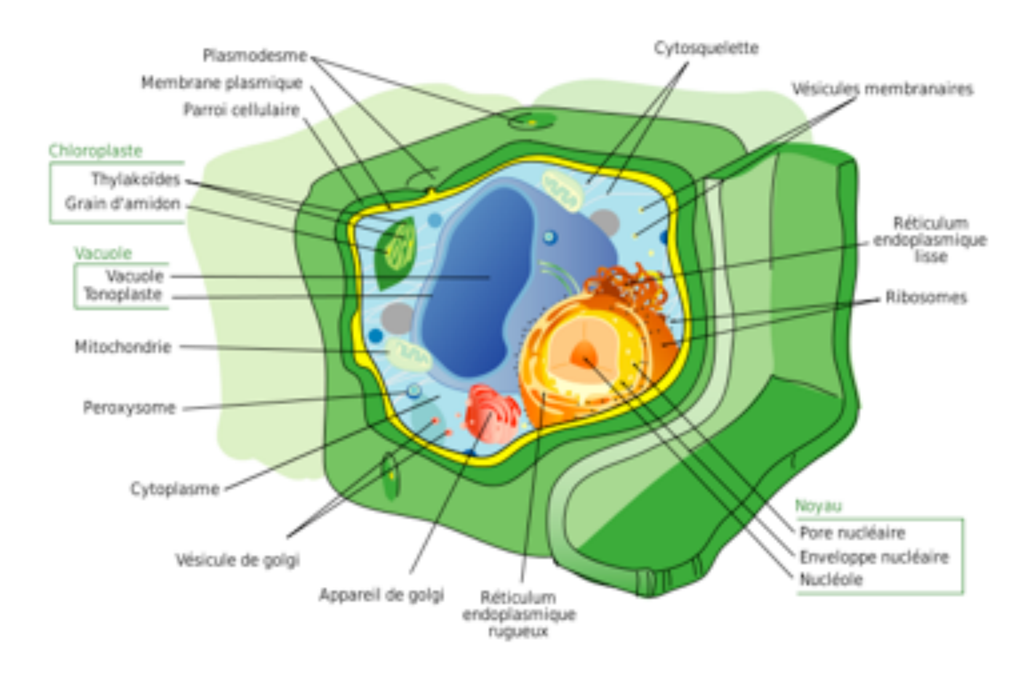
3 - *Les* organites sont plus petits, les cellules plus difficiles à maintenir en vie, moins colorées...

4 - *Il pensait que ces organites étaient «indépendants» de la cellule, comme des bactéries qui vivraient à l'intérieur de celle-ci.*

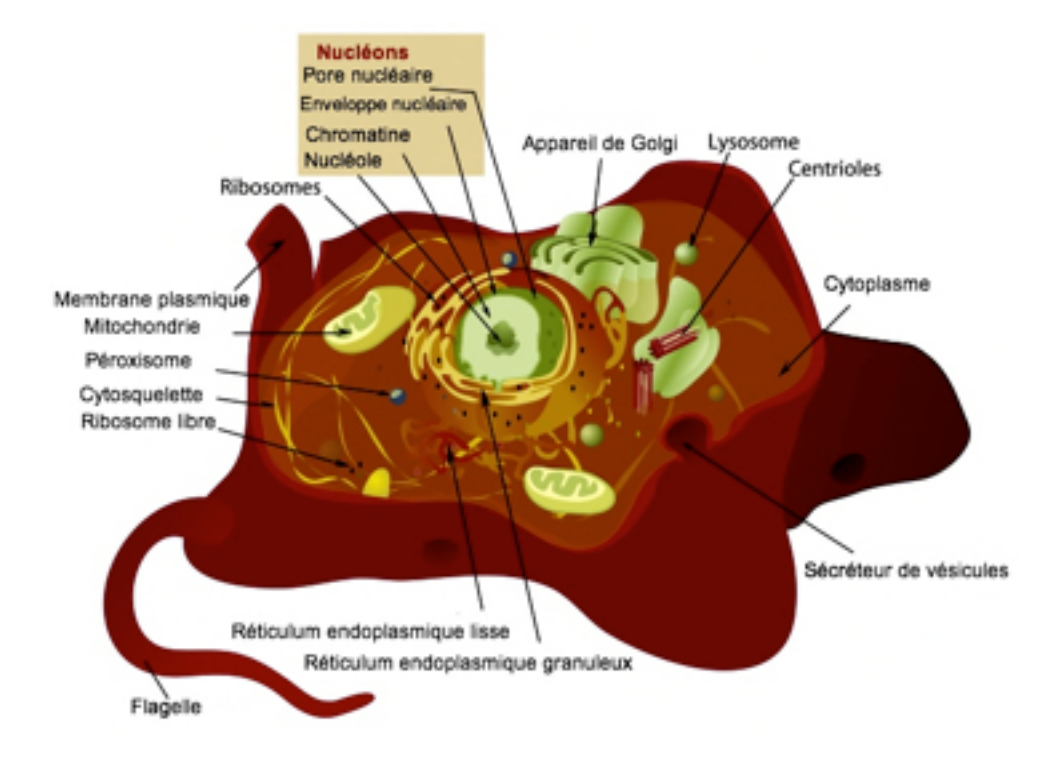
5 - Essentiellement, pour vous, procaryotes = bactéries - voir le chapitre sur la biodiversité.

6 - à l'exception des chloroplastes, nettement visibles de par leur taille et leur coloration naturelle, et du noyau.

Dans les cellules eucaryotes, les organites, comme de petits sacs, délimitent plusieurs compartiments. Ils sont séparés du cytoplasme par une ou deux membranes, et exercent des fonctions précises. Ainsi, le noyau contient l'ADN organisé en chromosomes; le flagelle permet le déplacement du spermatozoïde, le chloroplaste est le lieu de la photosynthèse... Et les mitochondries ? Ce n'est qu'en 1948 que trois biochimistes, GH Hogeboom, W Schneider et G. Pallade, montrent que ces organites sont les «centrales énergétiques» de la cellule, et qu'il s'y produit une bonne partie des transformations chimiques liées au métabolisme de la respiration. Pour cela, ils ont extrait et isolé par centrifugation des mitochondries à partir du foie de rat, et ils ont étudié les transformations chimiques qui s'y produisent (voir exercice 3).



L'organisation interne des cellules végétales (ci-dessus) et animales (ci-dessous) est complexe (heureusement, vous n'avez pas à connaître tous ces termes et tous les détails!).
Retenez les mitochondries (le flagelle, vous l'avez découvert chez le spermatozoïde en 4e....), ainsi que la paroi, les chloroplastes et la vacuole des cellules végétales. Le «nucleons» n'est pas autre chose que le noyau. Les deux schémas sont de Mariana Ruiz Villarreal «Lady of Hats», Wikimedia commons.

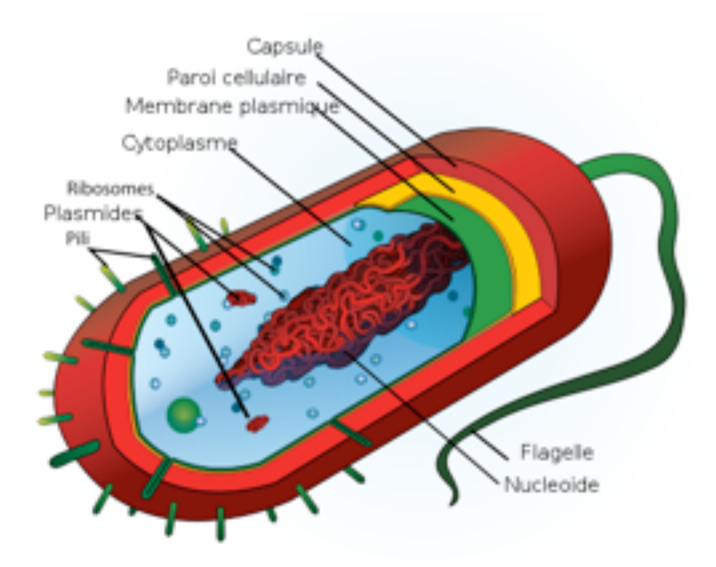


Le contexte

Science et techniques progressent ensemble: cellules et microscopes

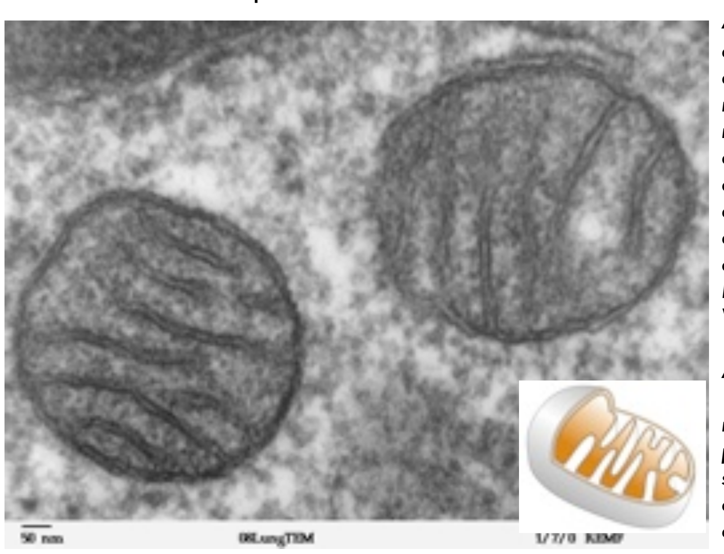
Les progrès dans la connaissance de la cellule sont liés aux progrès de la microscopie, mais aussi des colorations qui permettent de mettre en évidence les structures intracellulaires. Vous avez déjà observé au microscope, au collège, des coupes colorées, mais la mise au point de ces colorations a nécessité de longs travaux de recherche tenant parfois plus de la recette de cuisine que de la chimie la plus précise!
Toutefois, malgré ces efforts, l'utilisation de la lumière pour un microscope atteint vite une limite: la «taille» des particules de lumière ne permet pas de grossir une préparation plus de 1200 fois environ.
Toutefois, au début du 20ème siècle, les travaux des physiciens ont montré que l'on pouvait utiliser l'électron à la place de la lumière. L'électron ayant une «taille» mille fois inférieure à celle de la lumière, on pouvait ainsi espérer grossir suffisamment pour «voir» jusqu'aux atomes!
En 1931, le physicien Max Knoll et son étudiant Ernst Ruska construisent le premier microscope électronique, déjà très supérieur à tout ce qui existe en microscopie optique. Ce type de microscope commence à être construit un peu partout en Europe, et des méthodes sont mises au point pour préparer les échantillons à observer (par exemple, les «tranches» à découper sont 5 fois plus fines que pour un microscope optique, et au lieu d'utiliser des colorants, qui sont «invisibles» pour les électrons, on utilise des métaux lourds qui, en laissant plus ou moins passer les électrons, donneront des images plus ou moins grises). La guerre ralentit ses progrès, les scientifiques pouvant difficilement communiquer entre pays ennemis, et ce n'est qu'après 1945 que des entreprises d'électronique transformeront un outil «artisanal» de laboratoire en produit standardisé de haute performance.
De nos jours, il existe une grande variété de microscopes électroniques, et le rêve de physiciens du siècle dernier s'est réalisé; certains d'entre eux permettent réellement de «voir» les atomes...
Les connaissances scientifiques sur la cellule n'ont pu progresser que grâce à la mise au point de techniques comme la microscopie électronique: loin d'être opposées, science et technique sont complémentaires et indissolubles: l'esprit humain n'est limité que par les moyens dont il dispose....

Les procaryotes ne sont pas compartimentés. De petite taille (1), ils ne renferment aucun organite. L'utilisation du microscope électronique a permis de confirmer, dans les années 1950, l'absence de tout noyau, un «chromosome» (2) unique baigne directement dans le cytoplasme.



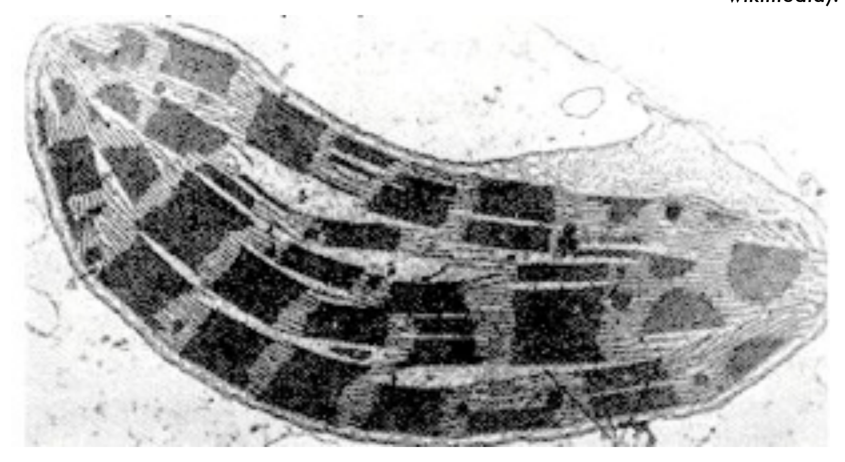
Sur ce schéma, l'organisation interne d'une bactérie montre son «chromosome» libre; le nucleoïde, et une membrane souvent doublée d'une «capsule» complexe. Certaines bactéries ont un flagelle pour se déplacer. Schéma de Mariana Ruiz Villarreal «Lady of Hats», Wikimedia commons.

L'utilisation de la microscopie électronique a aussi permis de découvrir que les organites possèdent une organisation complexe (que vous n'avez pas à connaître, ouf!), comme le montrent les photos et schémas ci-dessous.



A gauche: photo (x 20000) et schéma de mitochondries dans une cellule de mammifère. Ces mitochondries ont 250 nm de diamètre et sont délimitées et intérieurement divisées en partie par une double membrane clairement visible. Photo L.Howard, schéma Tatoute/ Wikipédia.

Au dessous, photo (x 10000) d'un chloroplaste montrant là aussi la présence de nombreuses structures membranaires empilées comme des crêpes... Photo E. Boutet/ wikimedia).





Quelques définitions

Le sens des mots est primordial en sciences, alors quelques définitions, au cas où...

Chloroplaste: Organite composé de «sacs» riches en chlorophylle empilés à l'intérieur d'un ensemble limité par une membrane, et nageant dans le cytoplasme. Les chloroplastes caractérisent les cellules végétales et sont le lieu où se produit la photosynthèse.

Échelle de grandeur: Échelle permettant de comparer les tailles respectives des structures dont on parle. Il est nécessaire de les garder à l'esprit pour éviter de graves confusions (comme celle entre cellule et molécule, tiens...).

Eucaryote: être vivant dont les (ou la) cellules possèdent un noyau délimité par une membrane, et de nombreux organites dans leur cytoplasme.

Fermentation: Métabolisme où de l'énergie est obtenue par la cellule en absence d'O_2 . Souvent, un des déchets rejetés est l'éthanol (alcool du vin, de la bière, etc.)

Membrane: Limite de la cellule. La membrane est un organite complexe qui règle les échanges entre la cellule et son milieu.

Mitochondrie: Organite présent chez toutes les cellules eucaryotes, nageant dans le cytoplasme. Les mitochondries sont le lieu où se produisent les transformations chimiques de la respiration, source d'une énergie utilisable par la cellule.

Métabolisme: Ensemble de transformations chimiques se produisant dans un être vivant (une cellule), et transformant, par exemple, l'énergie en une forme utilisable par la cellule.

Procaryote: être vivant microscopique, unicellulaire, dont l'ADN n'est pas contenu dans un noyau. Il s'agit en fait des bactéries, *mais ce groupe est une espèce de «fourre-tout ce qui n'est pas eucaryote» et est aujourd'hui remplacé par deux groupes mieux définis. Ce mot est toutefois à connaître, car d'emploi courant (la preuve, il est à votre programme!).*

unicellulaire
Être vivant constitué d'une seule cellule.

- Sur le web -

Les sites de vidéos vous donnent accès à de nombreuses vidéos sur la cellule, mais attention: certaines sont utilisées par des religieux dans des buts plus que discutables. Deux liens «sûrs»:
- une suite de petits films montrant des unicellulaires avec une technique de microscopie permettant de les observer vivants.
- Un virus à l'accent marseillais vous expliquant la cellule dans un dessin animé.... (Oui, «ils»

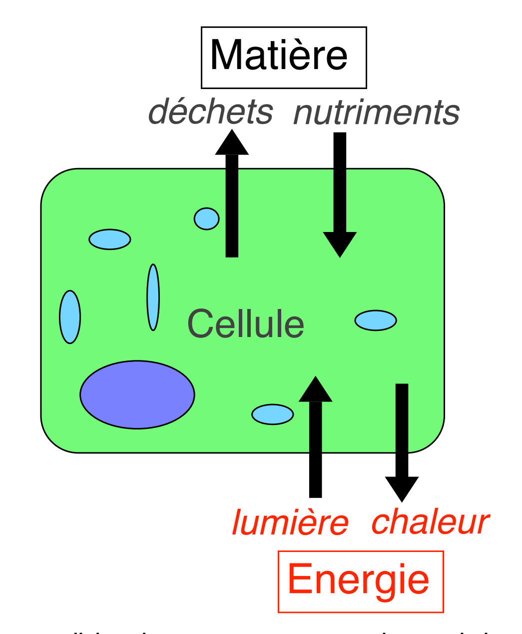
---

1 - le plus souvent dix fois plus petits qu'une cellule animale de taille moyenne - un bonbon tic-tac par rapport à une balle de tennis, en volume...
2 - Ce «chromosome» ne s'organise jamais en une structure en forme de X, comme chez les eucaryotes. C'est une molécule d'ADN liée à des protéines, et c'est par analogie avec les eucaryotes qu'on l'a appelé chromosome, car il joue le même rôle, avec les mêmes molécules, mais sous un autre aspect.

42 - La membrane est un organite qui règle les échanges entre cellule et environnement.

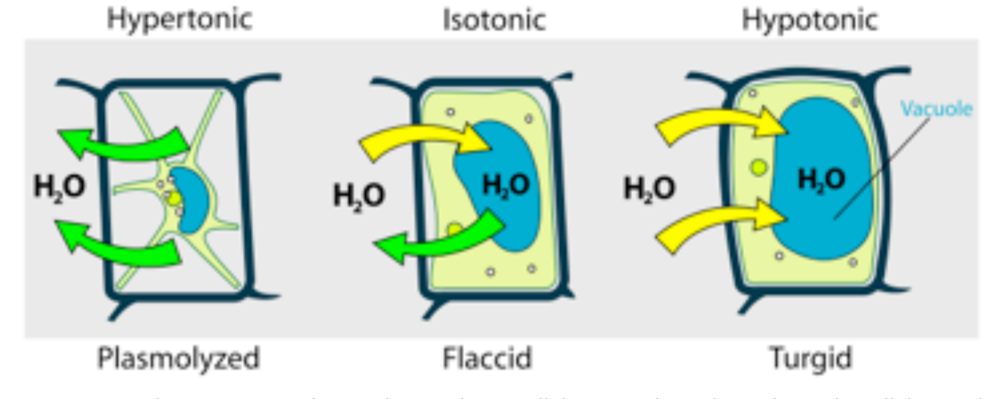
Que ce soit pour la cellule ou pour ses organites, on retrouve toujours une ou plusieurs membranes qui définissent les limites de ces structures. La principale difficulté rencontrée pour étudier les membranes est qu'elles sont invisibles au microscope optique, elles ont d'abord été suspectées avant d'être réellement vues au microscope électronique!

Dès la cinquième, vous avez appris que les organes réalisaient des échanges avec le sang. Cela signifie que des éléments doivent bien traverser la membrane des cellules qui constituent ces organes. En effet, une cellule n'est jamais isolée: à travers sa membrane se produisent toujours des échanges avec son milieu. Ces échanges peuvent impliquer le passage de diverses molécules (nutriments, hormones, eau, O_2 et CO_2...) mais aussi des transferts d'énergie (lumière, chaleur).

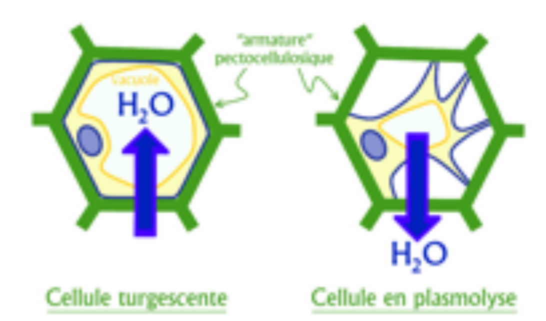


La cellule échange, à travers sa membrane, de la matière et de l'énergie avec son environnement. Celui-ci peut être le milieu extérieur pour les unicellulaires, où d'autres cellules, dans un organisme.

Les propriétés de la membrane cellulaire ont d'abord été mises en évidence chez les cellules végétales (1). C'est un des anciens élèves de Schleiden (2), Karl W. von Nägeli qui, avec un des étudiants, Carl E. Cramer, a remarqué en 1857 que des préparations de cellules végétales changeaient d'aspect en fonction de la composition de l'eau qui était utilisée pour maintenir les cellules en bon état: dans de l'eau distillée (*milieu «hypotonique», car moins concentré que l'intérieur de la cellule*), le volume de la vacuole augmentait, mais si l'on utilisait de l'eau salée, au-delà d'une certaine limite (*même concentration que la cellule, milieu dit «isotonique»*), la vacuole perdait son eau, qui sortait de la cellule), cette dernière se contractant à l'intérieur de sa paroi (*le milieu extérieur est alors «hypertonique», plus concentré que celui de la cellule*) - voir schéma:

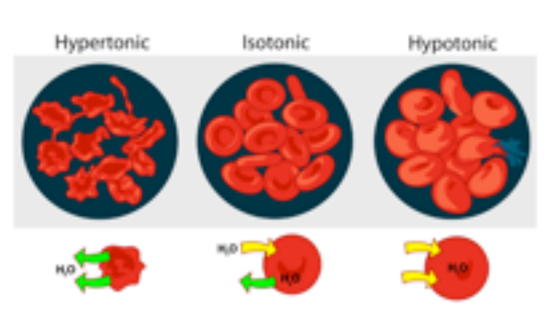


Mouvements d'eau à travers la membrane d'une cellule végétale. Selon esl cas, la cellule est dite plasmolysée, flacide ou turgescente. (Ces termes sont signalés en anglais (oui, en anglais) sur le schéma, mais ne sont pas à connaître!).



L'eau traverse la membrane plasmique, ce qui implique que l'aspect d'une cellule change selon la concentration (la «tonicité») de son environnement. Une cellule végétale (ci dessus, schéma svtsvt/wikimedia) peut ainsi plaquer ou décoller sa membrane de sa paroi (ce dernier cas est un mauvais signe: la plante est en train de faner...)

Le même phénomène était observable chez les cellules animales, comme des globules rouges par exemple: ils se gonflaient d'eau dans l'eau distillée et se ratatinaient dans de l'eau très salée (voir exercice 1). Ce comportement pouvait s'expliquer en faisant l'hypothèse qu'il existait un mouvement d'eau à travers la membrane, la cellule faisant varier sa teneur en eau selon la composition de son environnement (3). La membrane se révélait donc perméable à l'eau selon les conditions. Il apparut aussi très vite, en testant différents colorants, que certains pénétraient dans les cellules et pas d'autres: la membrane était donc douée d'une perméabilité sélective. Cela implique que la membrane soit bien plus qu'une simple barrière: elle doit pouvoir orienter les échanges, «choisir» ce qui doit entrer dans la cellule et ce qui doit en sortir (4). La membrane est donc un organite d'une grande complexité jouant à la fois un rôle de frontière et de «poste de garde» qui régule les échanges entre la cellule et son environnement. Les entrées et sorties de la cellule sont également dépendantes des transformations métaboliques qui s'y déroulent, comme nous l'avons vu.



Les globules rouges réagissent comme les cellules végétales, si ce n'est que, ne possédant pas de paroi pour stopper leur gonflement,, ils peuvent éclater en milieu hypotonique...
Toutes les cellules eucaryotes on donc une membrane se comportant de façon similaire.

Les fonctions des métabolismes cellulaires sont donc liées à la structure des organites qui composent la cellule, unité du vivant que l'on retrouve organisée de façon similaire chez tous les êtres vivants, indice supplémentaire, s'il en fallait encore, de leur commune origine!

1 - Les TP que vous ferez (ou avez réalisé) en cours s'inspirent d'ailleurs souvent de ces premiers travaux, refaire des expériences importantes est une des constantes du travail scientifique!

2 - Celui qui a découvert que les végétaux étaient faits de cellules... comme vous le savez vu que vous avez attentivement lu les pages précédentes, non ?

3 - Ce qui implique que dans un organisme, les cellules, pour rester en bonne condition, doivent avoir un environnement constant... vaste problème, mais n'anticipons pas...

4 - Une cellule qui serait incapable d'évacuer ses déchets ou les molécules qu'elle fabrique (pensez aux anticorps fabriqués par les lymphocytes B) ou qui serait incapable de faire rentrer les nutriments de son environnement dans son cytoplasme (pensez au glucose pour les levures) ne resterai pas vivante bien longtemps.

Résumé *des épisodes précédents...*

Tous les êtres vivants sont constitués à partir des mêmes éléments chimiques. Ils sont tous organisés en cellules, de tailles diverses, dont le cytoplasme peut être compartimenté par de nombreux organites spécialisés (eucaryotes) ou non (procaryotes), limités par une membrane réglant leurs échanges avec leur environnement. Tous utilisent pour se reproduire les propriétés d'une ou plusieurs molécules d'ADN.
Cette unité du vivant s'explique par une origine commune à toutes les formes de vie de la planète Terre.

Questions

1/ Qu'est-ce qu'une cellule ?
2/ Qu'est ce qu'un organite ?
3/ Quelles sont les propriétés d'une membrane ?
4/ Quelles sont les différences principales entre cellules animales et végétales ?
5/ Quelle technique a permis l'étude détaillée des organites ?
6/ Qu'est-ce qu'un chloroplaste ?
7/ Les cellules végétales ont-elles un noyau ?
8/ Les bactéries possèdent-elles des organites ?

Colles

1/ Comparer dans un tableau les eucaryotes et les procaryotes, en mentionnant leurs points communs et leurs différences

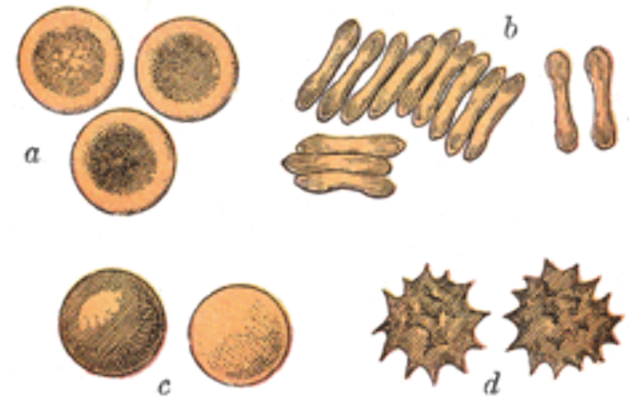
2/ Classer par ordre de taille croissante: cellule musculaire humaine, molécule d'ADN, Bactérie, noyau cellulaire, molécule de CO_2, atome de Carbone, diamètre d'un cheveu humain.

3/ Expliquez pourquoi il est le plus souvent nécessaire de réaliser des colorations des cellules avant de les observer au microscope.

Exercices

1 - Gray's Anatomy. (7 pts)

Le dessin ci-dessous est tiré d'un livre de médecine, écrit par le Dr Henry Gray, dont vous connaissez tous le nom, qui a inspiré une série célèbre. Il représente des hématies:



En a et b, hématies normales, vues de dessus ou de profil. Le schéma c décrit l'aspect des hématies mises en contact avec de l'eau distillée (donc pure) et le schéma d montre l'aspect pris par les hématies au contact d'une eau très salée.

11- Expliquez l'origine de l'aspect particulier pris par ces pauvres globules rouges en c et *d*. (4 pts)

12 - Au vu de la réaction des hématies à une variation de la teneur en sel, quelle caractéristique doit avoir la teneur en sel du sang ? (1 pts)

13 - Vous avez déjà observé, en TP, du sang au microscope. Il ne vous a pas échappé que les hématies, qui sont des cellules, semblent bien ne pas posséder de noyau. Formulez une hypothèse logique permettant d'expliquer cette constatation. (2 pts)

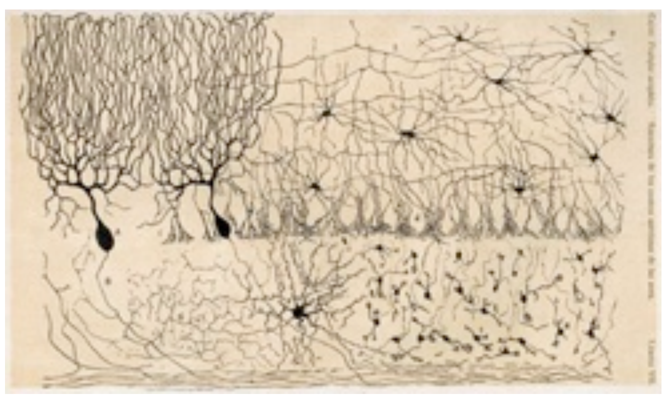
2 Les explorateurs du cerveau (7 pts)

En 1869, le médecin italien Camillo Golgi fit l'hypothèse que certaines maladies mentales pouvaient être causées par des détériorations physiques du cerveau. Seulement, pour confirmer son idée, Golgi aurait voulu observer le cerveau au microscope. Malheureusement, à l'époque, il n'existe pas de coloration permettant de mettre en évidence les tissus nerveux.

Vers 1872, Golgi met au point une technique de coloration utilisant le nitrate d'argent, qui permet de colorer en noir certains éléments du tissu nerveux. Par la suite, Golgi observa également que sa coloration permettait de voir, dans le cytoplasme, une structure qui n'apparaissait que comme une simple tache noire.

21 - La tache noire observée par Golgi paraissait, pour beaucoup de scientifiques, être une simple tâche de colorant, qui se développait au hasard dans la cellule. Ce n'est qu'après 1950 que la réalité de l'existence d'un organite particulier correspondant à celui vu par Golgi a été établie. Pourquoi a t'il fallu attendre si longtemps ? (2 pts)

22 - La coloration de Golgi fut utilisée par un médecin espagnol, Santiago Ramon y Cajal, pour étudier finement le système nerveux. Voici un dessin, réalisé par Cajal, d'une coupe de cervelet de poulet colorée selon la méthode de Golgi:



Quelles sont les parties de la cellule qui sont mises en évidence par la coloration de Golgi ? (2 pts)

23 - Cajal remarqua qu'il obtenait de meilleures colorations et des images des cellules beaucoup plus nettes s'il utilisait des cerveaux d'individus* très jeunes. Que pouvez-vous en déduire sur les changements qui affectent les cellules nerveuses avec le temps ? Au fait, comment nomme t'on ces cellules (vous le savez depuis la troisième!) ? (3 pts)

* ces «individus» sont des animaux d'expérience, comme des poulets (ou plutôt des poussins), par exemple

3 - Centrifugator (11 pts)

Afin d'étudier le fonctionnement de la chimie des mitochondries, Hogeboom, Schneider et Pallade, en 1948, doivent isoler ces organites du reste de la cellule. Pour cela, ils ont amélioré une technique de séparation des constituants d'un mélange que vous connaissez: la centrifugation. Ici, elle est tellement rapide qu'on parle même d'ultracentrifugation.

Hogeboom et ses collègues procèdent ainsi: ils prélèvent le foie d'un rat, et l'organe est transformé en pulpe en passant à travers une grille métallique (au moyen d'un appareil qui ressemble un peu, dans son principe, à un presse-ail, pour les plus gourmands d'entre vous). La pulpe obtenue est le plus rapidement possible mise à une température comprise entre 0 et 5°C. Ils remplissent des tubes contenant 5mg de foie et 50 ml d'une solution de sucre (qui a un effet protecteur sur les mitochondries). Toutes les autres opérations se dérouleront, au niveau des tubes, entre 0 et 5°C.

31 - Pourquoi toutes les opérations se déroulent elles à basse température alors qu'il serait tout de même plus simple de travailler à température ambiante ? (2 pts)

32 - Hogeboom et compagnie commencent par centrifuger leur tube trois fois 10 min à 600 G (600 fois la valeur de la pesanteur terrestre, un humain perdant conscience au-delà que quelques G pendant la même durée). Ils éliminent ainsi les noyaux cellulaires de leur préparation, ainsi que divers débris cellulaires qui sont poussés vers le fond du tube par leur poids, où ils se déposent. Le liquide qui surnage au-dessus du dépôt contient les mitochondries. Pour les en séparer, les trois biochimistes devront centrifuger ce liquide 20 min à... 24000 G !

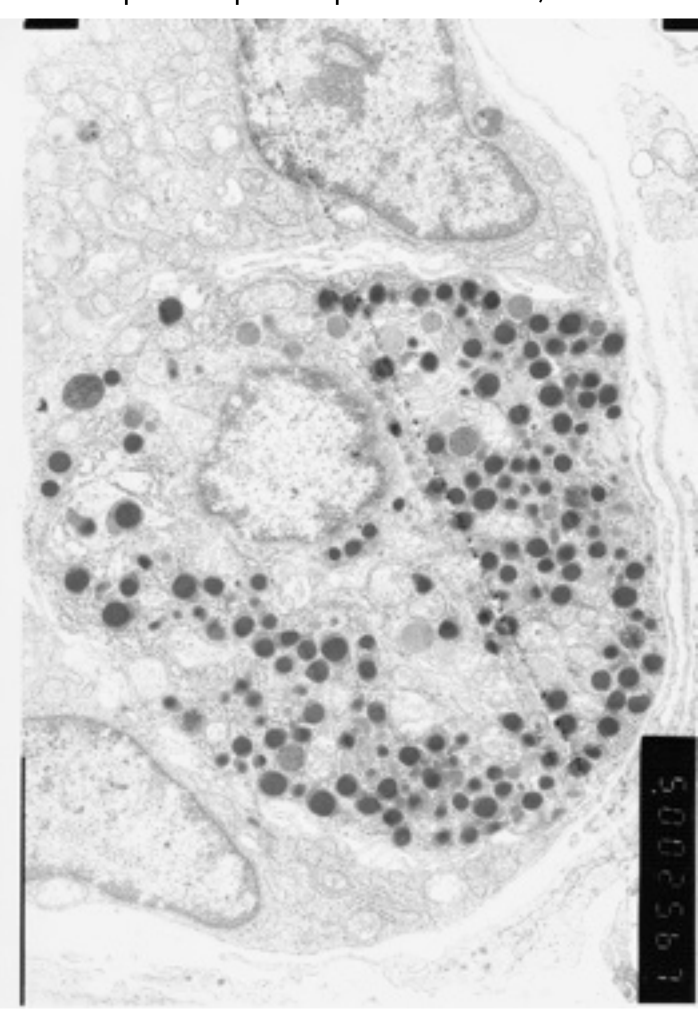
Si l'on ne tient compte que du nombre de G nécessaires pour les séparer, quel est l'organite le plus lourd, le noyau ou les mitochondries ? Chiffrez approximativement cette différence de masse. (3 pts)

33- Dans la suite de leur travail, notre trio va chercher à mettre en évidence la présence d'enzymes dans leur préparation ne contenant que des mitochondries. Pourquoi rechercher des enzymes à ce niveau ? (2 pts)

34 - Si vous disposiez de cette préparation purifiée de mitochondries, quelle expérience pourriez-vous proposer afin de vérifier que c'est bien au niveau de ces organites que se déroule le métabolisme de la respiration (justifier votre réponse) ? (4 pts)

4 - Si la cellule m'était contée (8 pts)

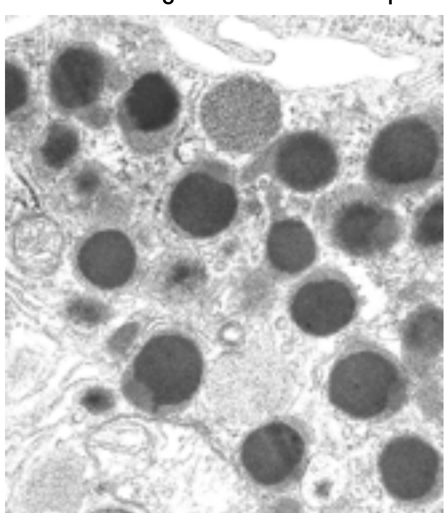
Voici une photographie, en microscopie électronique, d' une cellule pancréatique fabriquant une hormone, x 5000.



L'Hormone fabriquée est mise en évidence, dans cette préparation, par une «imprégnation» (on est au pays des électrons, on ne parle donc plus de «couleur» ici!) sombre.

41 - Dans quelle partie de la cellule l'hormone est-elle fabriquée ? Sa répartition est elle homogène ? (justifiez votre réponse - 3 pts)

42 - voici un agrandissement de la photo:



Dans quoi l'hormone fabriquée est-elle contenue ?

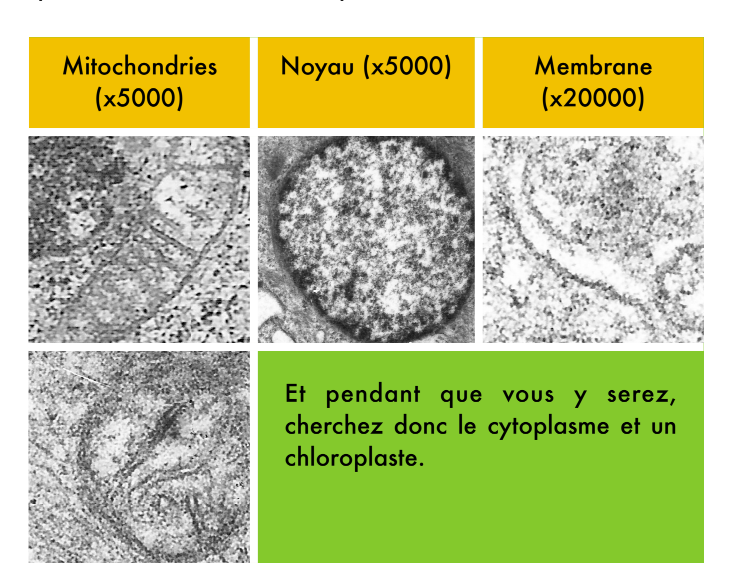
A quel organite, rencontré sur un autre type de cellules, cela peut-il vous faire penser ? (4 pts)

43 - Où la cellule va t'elle rejeter l'hormone fabriquée ?

Photos: collection de l'auteur.

5 - Où est Charlie ? (10 pts)

Bonjour. Votre mission, si vous l'acceptez (mais avez-vous le choix ?) consiste à retrouver différents organites sur la photographie de cellules, prise en microscopie électronique, visible page suivante. Pour vous aider, voici quelques photos (pas à l'échelle, ce serait trop facile !) des structures à identifier:



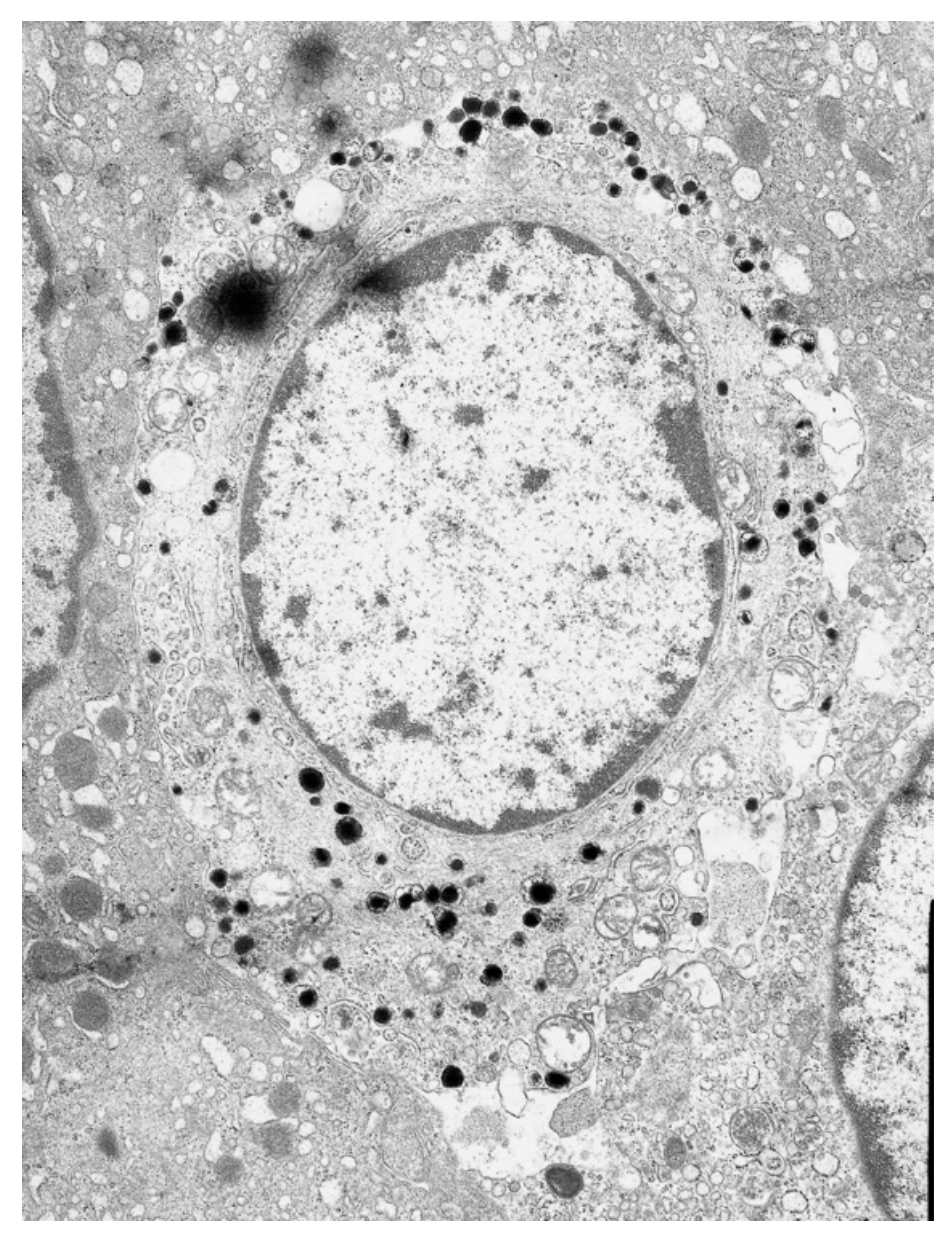
Rules, Brittania

En 1928, les progrès récents de la physique montraient que l'on pouvait utiliser les électrons comme on utilise la lumière. A cette époque, deux physiciens, Leo Szilard et Denis Gabor (le premier participera à la mise au point de l'arme atomique, le second inventera les hologrammes) discutent entre eux dans un café:

Szilard: «*Busch has shown that one can make electron lenses, de Broglie has shown that they have sub-Angström wave lengths. Why don't you make an electron microscope, one could see atoms with it!*»

Gabor: «*Yes, I know. But one cannot put living matter into a vacuum and everything will burn anyway to a cinder under an electron beam.*»

Vous allez bien entendu nous traduire cette intéressante conversation.



Exercice 5 - Cellule pancréatique fabriquant une hormone, x 5000.

Retrouvez donc les différents organites !

Photo: collection de l'auteur.

Corrections

Questions

1/ Une cellule est un être vivant microscopique. Animaux, végétaux et champignons sont le plus souvent constitués d'un assemblage de cellules, l'organisme. La cellule est alors la plus petite partie vivante d'un organisme.
2/ Un organite est un «organe» microscopique appartenant à une cellule. Il s'agit d'une structure présente dans la cellule et qui est liée à une certaine fonction.
3/ La membrane d'une cellule est souple, déformable (rappelez-vous des macrophages de troisième...) et joue vis-à-vis de l'environnement cellulaire le rôle d'une barrière sélective, permettant, régulant ou empêchant l'entrée ou la sortie de nombreuses molécules.
4/ Les différences principales entre cellules animales et végétales sont liés au métabolisme et à la présence de certains organites particuliers. Les cellules végétales sont enfermées dans une paroi rigide, elles contiennent des chloroplastes ainsi que, le plus souvent, une grande vacuole, et réalisent la photosynthèse et la respiration.
Les cellules animales ont une membrane souple, sont, pour la plupart, capables d'être mobiles, et tirent leur énergie du métabolisme de la respiration.
5/ La technique qui a permis l'étude détaillée des organites est la microscopie électronique.
Toutefois, si certains d'entre vous ont répondu l'ultracentrifugation, ils gagnent aussi le double des points *(la microscopie a donné accès à la structure, à l'aspect; alors que l'isolement des organites par ultracentrifugation a permis l'étude de leur fonctionnement)*
6/ Un chloroplaste est un organite vert, caractéristique des cellules végétales, et est le lieu où se produit l'essentiel de la photosynthèse.
7/ Les cellules végétales ont un noyau, mais la vacuole prend tellement de place que, parfois, on ne le voit pas (il peut être sous la vacuole, ou dessus...)
8/ Les bactéries possèdent des organites, mais ils sont d'une diversité limitée et d'une très petite taille. Elles n'ont pas d'organites en forme de sac intracellulaires, qui sont la caractéristique des cellules eucaryotes.
Toutefois, les organites bactériens le plus facilement visibles sont situés vers l'extérieur de la cellule: outre la membrane, il peut exister un ou plusieurs flagelles et, parfois, une «capsule» qui recouvre la membrane.

Colles

1/ Tableau comparant les eucaryotes et les procaryotes

Classification	Procaryote	Eucaryote
Points communs	êtres vivants (nutrition, reproduction...), utilisent de l'ADN et des métabolismes similaires. Ils sont formés des mêmes éléments chimiques, dans les mêmes proportions (ou peu s'en faut)	
Différences	Taille inférieure, pas de compartiments dans la cellule, ADN libre dans le cytoplasme.	Nombreux organites compartimentant la cellule, taille supérieure, ADN organisé dans un noyau

2/ Par ordre de taille <u>croissante</u> (du plus petit au plus grand, hein ?) nous trouvons: atome de Carbone - molécule de CO_2 - molécule d'ADN - Bactérie - noyau cellulaire - cellule musculaire humaine - diamètre d'un cheveu humain.
Dans cette liste, vous pouvez intervertir noyau et bactéries, car même si, le plus souvent, les bactéries sont plus petites, les tailles sont proches (*et où serait le sel d'un exercice sans un petit piège, hein ?*)

3/ Il est le plus souvent nécessaire de réaliser des colorations des cellules avant de les observer au microscope, car la plupart des cellules ne sont pas colorées mais transparentes et, de plus, extrêmement peu contrastées. Observées sans coloration, elles sont difficiles à voir, leur limite est indistincte, leur contenu quasiment invisible.

Exercices

<u>1 - Gray's Anatomy. (7 pts)</u>
11- Origine de l'aspect particulier de globules rouges en c et d
En c, les hématies sont toutes gonflées, presque sphériques. Visiblement, en présence d'eau distillée, l'eau est rentrée dans les cellules en passant à travers la membrane et les a fait gonfler (*si cela continu, les hématies vont éclater, libérant leur hémoglobine: c'est l'hémolyse, une réaction extrêmement dangereuse pour l'organisme, voire mortelle...*)
En d, les hématies sont toute contractées, on dirait qu'elles sont «vidées»: dans l'eau très salée, elles ont perdu leur eau (ceux qui ont déjà vu mettre un jambon au sel comprendront mieux le phénomène!). L'eau des hématies a donc traversé leur membrane en passant vers l'extérieur, ce qui a «asséché» les cellules.

12 - Caractéristique de la teneur en sel du sang
Visiblement, les hématies n'apprécient pas une teneur en sel trop faible (elles gonflent et éclatent) ou trop élevée (elles se dessèchent). On en déduit donc que la teneur en sel du sang doit rester toujours la même pour assurer un milieu de vie stable aux hématies (*on dit aussi que la concentration en sel doit être constante*).

13 - Une hypothèse logique expliquant l'absence de noyau des hématies.
Pour répondre à cette question, nul besoin de «tomber juste»: il suffisait de réfléchir à toutes les possibilités. Il n'en existe que deux principales, que l'on peut décliner en plusieurs cas:
- les hématies ont un noyau, mais il n'est pas visible: on peut imaginer qu'il est trop petit, ou caché par l'hémoglobine rouge contenue dans ces cellules.
- les hématies n'ont pas de noyau, car:
  - elles sont comme les bactéries, leur ADN est libre dans le cytoplasme.
  - ce sont des cellules trop «jeunes», leur noyau ne s'est pas encore «formé», il n'est pas visible (une objection: on devrait le voir au moins sur les hématies les plus âgées...)
  - ce sont des cellules trop «vieilles», elles n'ont plus de noyau, car elles l'ont «perdu», ce qui impliquerai qu'elles ne puissent pas vivre très longtemps *(ce qui est effectivement le cas: les hématies proviennent de cellules à noyau mais n'en possèdent pas, ce sont de simples «sacs» remplis d'hémoglobine, et qui ne «vivent» que 120 jours en moyenne*).

<u>2 Les explorateurs du cerveau (9 pts)</u>
21 - Il a fallu attendre 1950 pour faire de la tache noire découverte par Golgi un organite, car il fallait pour cela disposer d'une technique qui donne une image précise de l'intérieur du cytoplasme, afin d'y voir clairement les organites. Cette technique est la microscopie électronique, et elle ne s'est généralisée comme moyen d'observation des cellules que dans les années 1950 (en l'honneur *de son découvreur, l'organite en question a été appelé «appareil de Golgi»*)

22 - Dans la coupe de cervelet de poulet colorée selon la méthode de Golgi, on voit apparaitre les contours des cellules. On peut donc en conclure que la partie de la cellule mise en évidence est la membrane.

23 - Les colorations sont meilleures et les images plus nettes avec des cerveaux provenant de jeunes animaux. Comme cette coloration montre bien la membrane des cellules, on doit en déduire que la membrane des cellules nerveuses change avec le temps (puisque le produit colorant s'y fixe moins bien, ce qui explique les colorations moins réussies sur des cerveaux d'animaux adultes).
Ces cellules nerveuses, colorées et dessinées par Cajal, sont des neurones.

3 - Centrifugator (11 pts)

31 - L'intérêt de travailler à basse température découle directement de ce que vous pouvez observer tous les jours dans votre frigo: le froid «conserve» en bon état les échantillons biologiques (dans le frigo, on appelle ça des «aliments»). Hogeboom et ses collègues ont besoin de mitochondries en bon état pour étudier leur fonctionnement, il faut donc éviter le plus possible qu'elles ne se dégradent, car elles ne seront plus «protégées» à l'intérieur d'une cellule. C'est donc pour garantir une protection maximale des mitochondries qu'il faut travailler à la température la plus basse possible (en évitant , bien entendu, de geler le tout, la centrifugation ne fonctionnant que dans un liquide, pas dans de la glace!).

32 - Si l'on ne tient compte que du nombre de G nécessaires, on constate qu'il faut «alourdir» (en les accélérant grâce à la force centrifuge), en fait!) les noyaux 600 fois pour les faire tomber au fond du tube alors que les mitochondries ne tomberont que si elles sont «alourdies» 24000 fois. Le noyau tombant donc plus facilement au fond des tubes, c'est lui le plus lourd.

La différence de masse est à peu près liée à la différence d'accélération (alourdissement) nécessaire (car moins un corps est massif, plus il faut «l'alourdir» en l'accélérant pour l'envoyer au fond du tube): pour faire tomber les mitochondries, il faut les accélérer 24000/600= 40 fois plus. On peut donc supposer que les mitochondries sont environ 40 fois plus légères que les noyaux cellulaires. *(il s'agit ici d'un calcul très très simplifié, une simple estimation)*.

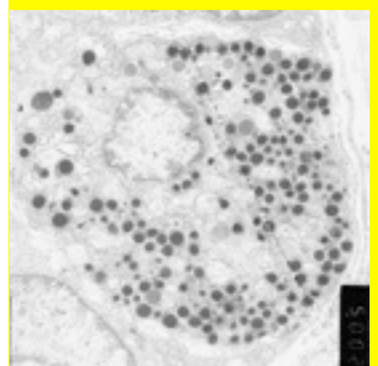
33- Le trio de chercheurs veut étudier la chimie et le fonctionnement des mitochondries. Les mitochondries sont des organites présents dans les cellules, leur fonctionnement est donc lié aux transformations chimiques qui se produisent dans les cellules: au métabolisme. Vous savez depuis la cinquième (hé oui) que chez les êtres vivants ce sont des molécules spéciales, les enzymes, qui permettent ces transformations chimiques. Il est donc parfaitement logique, pour étudier le métabolisme des mitochondries, de rechercher les enzymes (responsables des transformations chimiques du métabolisme) qui s'y trouvent!

34 - On veut mettre en évidence la respiration. La respiration se caractérise par... (*le premier qui dit inspirer/expirer gagne un stage de remise à niveau en cinquième!*) une consommation d'O_2 et une production de CO_2.

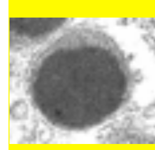
On pourrait donc imaginer de mesurer l'évolution de la quantité d'O_2 dans un tube contenant une préparation de mitochondries, en présence de sucre (puisque l'O_2 est utilisé pour «découper» les molécules de sucre). On pourrait aussi, en même temps, rechercher un dégagement de CO_2 au moyen d'un détecteur (vous connaissez tous l'eau de chaux, peu pratique ici, mais il existe aussi des sondes à CO_2, similaires aux sondes à O_2 , qui peuvent détecter et enregistrer la présence de ce gaz et son évolution dans le temps).

Note: l'idée d'expérience ci-dessus est logique et correspond à ce que vous avez appris, c'est une réponse correcte, mais ce n'est pas ce qui a été recherché dans ce cas. En effet, les transformations chimiques de la respiration se produisent en plusieurs étapes et certaines seulement se produisent dans la mitochondrie. Hé oui, les choses ne sont pas simples, mais cela ne vous empêche pas, en seconde, de raisonner à partir de vos connaissances actuelles: on ne vous en demandera pas plus (mais pas moins non plus!).

4 - Si la cellule m'était contée (8 pts)



41 - Dans cette préparation, l'hormone fabriquée par la cellule apparaît en noir. On constate la présence de nombreux «ronds» noirs, mais ils sont tous dans le cytoplasme de la cellule: il n'y en a aucun dans le noyau. L'hormone est donc fabriquée dans le cytoplasme.
La répartition de l'hormone n'est pas homogène. En effet, les «ronds noirs» ne sont pas disposés au hasard dans le cytoplasme: on constate qu'ils sont regroupés vers le bas et à droite (sur la photo) de la cellule. L'hormone semble surtout contenue dans une zone en forme de «U» incliné, proche de la membrane. Il y en a très peu aux alentours du noyau et vers le haut de la cellule.



42 - L'hormone fabriquée est contenue dans des espèces de «ronds». Si l'on regarde attentivement, on distingue une membrane autour de ces «ronds»: les molécules hormone sont donc enfermées dans des organites en forme de «poches», dans des sacs membranaires.
Un autre organite en forme de grande poche est la vacuole que l'on rencontre chez les cellules constituant les végétaux.

43 - Pour être utile, une hormone doit être transportée par le sang (cours de quatrième... oui, je sais...). Elle doit donc, de toute façon, sortir de la cellule. L'hormone fabriquée doit donc être rejetée en dehors de la cellule, dans l'environnement de la cellule (le milieu extracellulaire) et, de là, elle sera drainée par la circulation puis pourra atteindre le sang (les sacs qui contiennent l'hormone doivent donc permettre à cette dernière de traverser la membrane de la cellule).

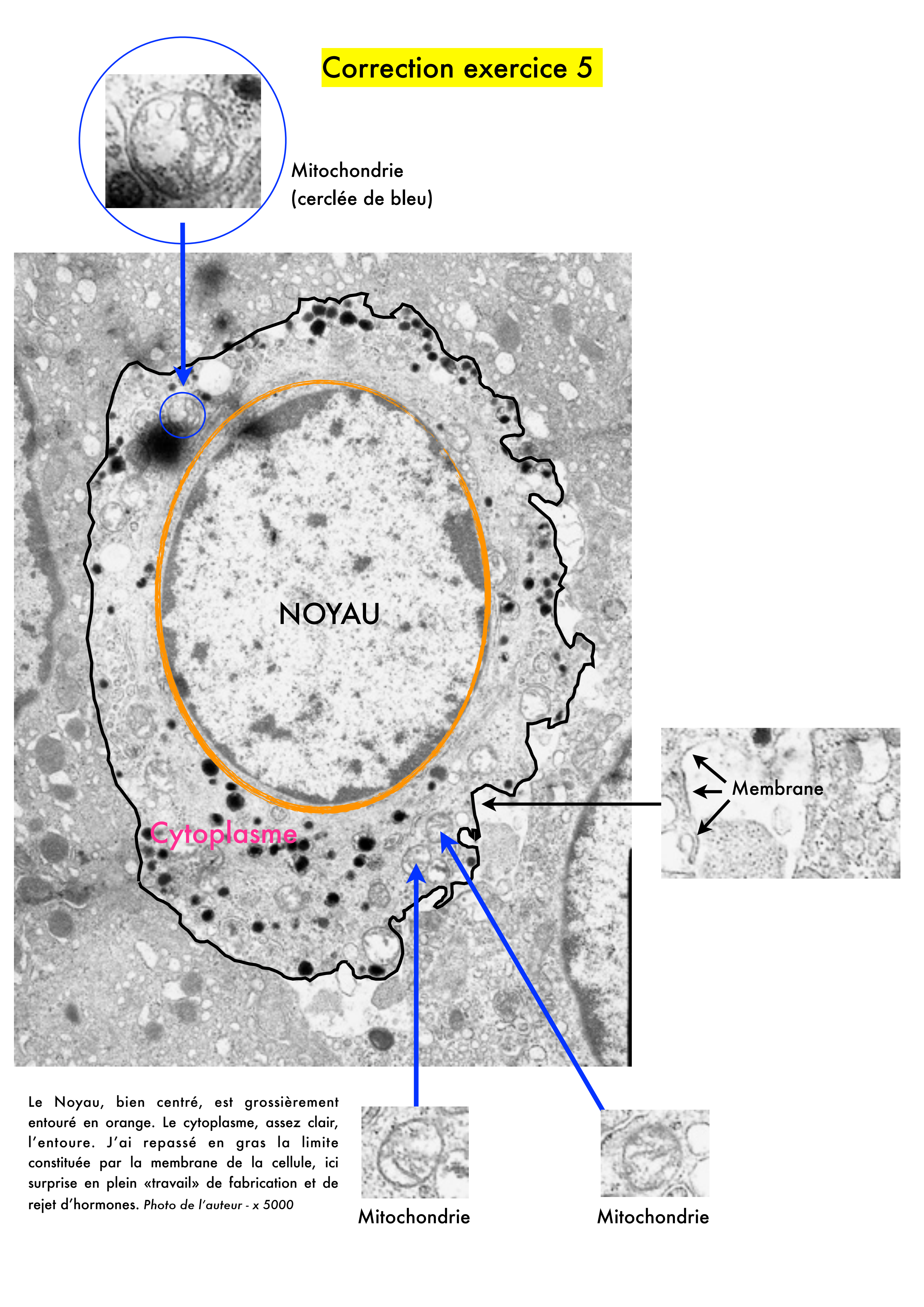
5 - Où est Charlie ? (10 pts)

Vous devez identifier mitochondries, noyau, membrane, cytoplasme et chloroplaste dans la cellule photographiée.
Éliminons le piège n° 1: on précise bien dans la légende de la photo (toujours bien lire les légendes) qu'il s'agit d'une cellule pancréatique. Hors, les végétaux, qui possèdent les chloroplastes, n'ont pas, aux dernières nouvelles de pancréas. On est donc bien en présence d'une cellule animale, et il est inutile d'y chercher un chloroplaste: il n'y en a pas!
Pour le reste, le plus dur est de reconnaître les mitochondries. D'après votre portrait-robot, vous déduisez qu'une mitochondrie est «un truc ovale avec des barres en dedans», ce qui aide à les identifier. Pour le noyau, pas de problème, le cytoplasme non plus: c'est tout ce qui est en dehors du noyau. La membrane, elle apparait comme un fin liseré sombre à la limite de la cellule. Il n'est pas évident de bien la voir tout autour de la cellule, mais elle est évidente à certains endroits. Correction complète page suivante.

Rules, Brittania

Szilard: «Busch a montré qu'on pouvait faire des lentilles à électrons, de Broglie a montré qu'ils ont des longueurs d'onde inférieures à l'angström. Pourquoi ne construisez-vous pas un microscope électronique, on pourrait voir les atomes avec lui !»

Gabor: «Oui, je sais. Mais on ne peut pas mettre de matière vivante dans le vide et tout serait brûlé et réduit en cendres sous le faisceau d'électrons.»



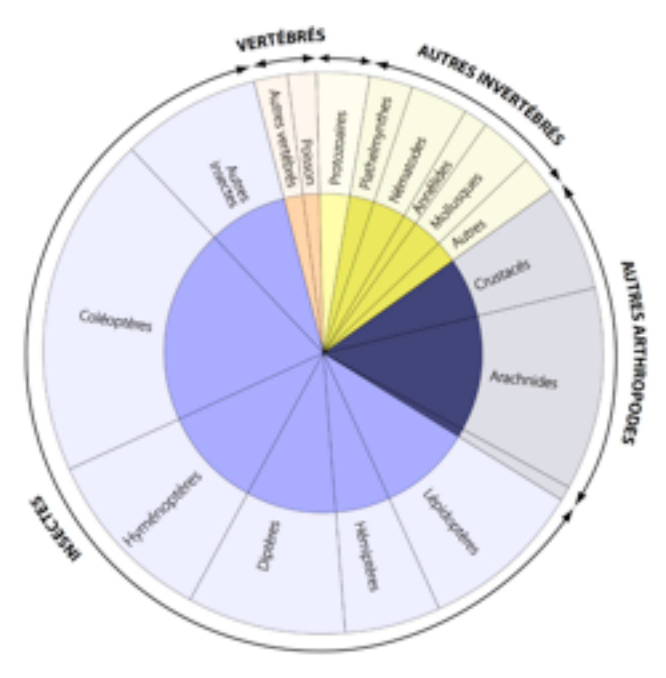
Le Noyau, bien centré, est grossièrement entouré en orange. Le cytoplasme, assez clair, l'entoure. J'ai repassé en gras la limite constituée par la membrane de la cellule, ici surprise en plein «travail» de fabrication et de rejet d'hormones. *Photo de l'auteur - x 5000*

LA BIODIVERSITE: un instantané dans l'évolution du vivant

1 - Les biodiversités correspondent à une étape de l'histoire du monde vivant

Un conseil: vous comprendrez bien mieux cette partie du cours si vous avez en tête votre chapitre de troisième sur l'évolution. Je vous engage à le réviser!

<u>11- Les différentes échelles de la diversité du vivant</u>



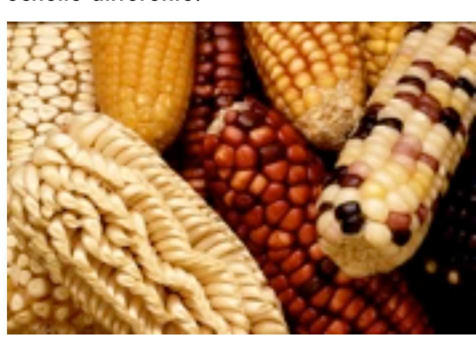
Vous avez, dès la sixième, commencé a étudier votre environnement et les êtres vivants qui s'y trouvent. Vous savez que ces êtres sont très différents (1): les insectes, les oiseaux, les mammifères, les arbres.... autant de catégories qui se ramènent, en fait, a des groupes d'êtres vivants d'aspect divers, à de nombreuses espèces différentes.

Ci contre: répartition des différentes espèces d'animaux: contre toute attente, vous voyez que «le monde des animaux» est bien davantage celui du million d'espèces d'insectes connu que celui des pauvres vertébrés qui, avec seulement 50000 espèces répertoriées, ne pèsent pas bien lourd dans l'ensemble du monde animal... schéma Valérie Chansigaud - wikimedia).

Si vous avez voyagé un peu, vous avez remarqué que les espèces présentes changent aussi: il existe un lien entre un environnement, un milieu, et les êtres vivants qui l'habitent. Le moindre documentaire animalier met en évidence l'existence de cet ensemble être vivant/milieu, que l'on nomme un écosystème (un nom à la mode).

Mais ce n'est pas tout: il existe une autre diversité, interne à chaque espèce: vous avez beau être un humain de l'espèce humaine (j'espère!), vous êtes différents (légèrement) de votre voisin, et plus encore de votre voisine (2): il existe, à l'intérieur d'une même espèce, une diversité au niveau des gènes (*bien illustrée par les différentes variétés de chiens, par exemple*).

La diversité du vivant peut donc être reliée à plusieurs éléments, chacun s'exprimant à une échelle différente:



- les écosystèmes sont différents, et peuvent changer dans le temps (songez tout simplement aux changements induits par les saisons)
- les espèces sont différentes, et changent également dans le temps, mais très lentement: c'est l'évolution (3)
- les gènes d'une espèce forment un ensemble qui diffère par l'existence de toute une population d'allèles différents pour un même gène (*ci contre: différents types à l'intérieur de l'espèce maïs*). De plus, vous savez à présent que peuvent survenir des mutations susceptibles de créer de nouveaux allèles (et qui ont été à l'origine des allèles existants).

Toutes ces variations dans le temps montrent que la biodiversité n'est pas un état fixe, mais une dynamique: elle évolue à différentes échelles de temps, et nous ne voyons qu'un état transitoire dans cet incessant flot de changements.

Le contexte

Un concept nouveau, des pratiques anciennes

Ce n'est qu'en 1980 que le biologiste Thomas Lovejoy, spécialiste de l'Amazonie, a inventé le terme de diversité biologique pour décrire la variété des espèces présentes dans ce milieu. En 1986, un important congrès était consacré à la «biological diversity», terme qui a été contracté en «biodiversity» (traduit par biodiversité) et popularisé par l'entomologiste E.O. Wilson.
Toutefois, l'idée de s'interroger sur la variété des espèces, de les dénombrer, n'est pas nouvelle: Dès 1735, le naturaliste Suédois Karl von Linné avait dans ses livres «systema naturae» essayé de classer l'ensemble des espèces connues. Même à son époque, c'était un travail immense: alors qu'il avait commencé par une brochure d'une dizaine de pages classant minéraux, végétaux et animaux; l'afflux d'échantillons lui étant envoyés par tous les explorateurs de l'époque depuis tous les continents aboutit à ce qu'il rédige finalement plusieurs gros volumes.
Depuis cette époque, la classification des êtres vivants (vous en avez eu un aperçu en sixième) a été fortement améliorée, et se base désormais sur leur histoire évolutive.
Toutefois, l'inventaire des espèces est loin d'être terminé: les explorations systématiques de zones peu étudiées, difficilement accessibles, donnent à chaque fois l'occasion de découvrir de nombreuses nouvelles espèces (principalement d'insectes, mais également, dans les océans, de plancton, sans parler des bactéries...)

---

1 - En apparences! Vous savez qu'au niveau cellulaire, cette différence si apparente au niveau des organismes devient beaucoup plus difficile à déceler

2 - inversez donc le masculin et le féminin si vous êtes une fille !

3 - alors, on a relu le chapitre correspondant du manuel de troisième ?

Bandeau - photo: d'après Gewin V (2006). PLoS Biol 4(8): e278. doi: 10.1371/journal.pbio.0040278

12 une image fixe dans le film de l'histoire du vivant

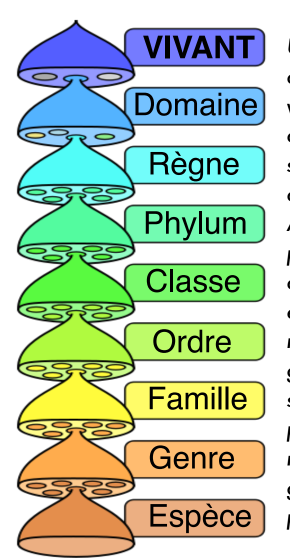
L'histoire du vivant a débuté voici presque 4 milliards d'années. Pendant cette durée, les différentes espèces se sont succédées, diversifiées, et ont disparu. En se basant sur le témoignage forcément limité des fossiles (1), les scientifiques estiment que 99 % des espèces ayant existé ont aujourd'hui disparu. Ou, plus exactement, que les espèces qui peuplent aujourd'hui notre planète ne représentent que 1% de celles ayant existé.

La connaissance de ces espèces nécessite de bien connaître les méthodes de déterminations (pour identifier un être vivant découvert) afin de savoir si ce dernier est déjà connu ou s'il constitue une espèce nouvelle (2). Par la suite, les caractéristiques d'une nouvelle espèce, par exemple, permettront de la classer dans l'ensemble du monde vivant.

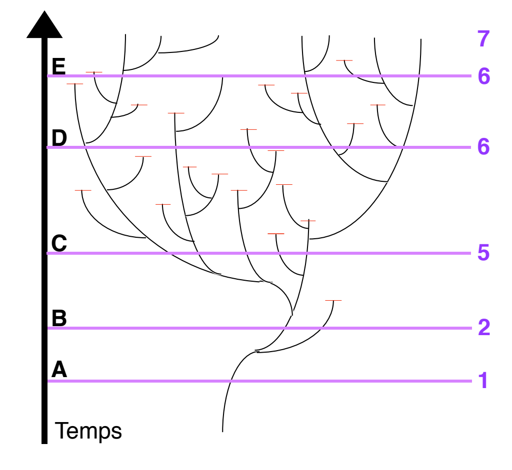
De nouvelles espèces sont constamment découvertes, pour la plupart dans des milieux encore mal explorés, comme les forêts tropicales humides. Ce ne sont pas de nouvelles espèces (qui viennent d'apparaitre) mais simplement des espèces existantes depuis longtemps qui n'ont jamais été décrites. La plupart sont des êtres vivants de petite taille (3), le plus souvent des insectes ou des champignons (4 cas bactéries).

Des espèces disparaissent également, soit à un rythme régulier, soit très rapidement pendant des périodes de crise, les extinctions massives.

Si l'on suit un arbre «généalogique» du vivant (voir ci contre) nous voyons se développer différentes espèces à partir d'une origine unique (comme tant de preuves l'indiquent). Le présent est représenté par le sommet provisoire de l'arbre, mais, à chaque époque du passé correspond un niveau particulier de l'arbre, correspondant à une biodiversité particulière. Cette biodiversité correspond aux populations animales, végétales, fongiques (5) et microbiennes qui peuplaient cet environnement à cette époque-là.



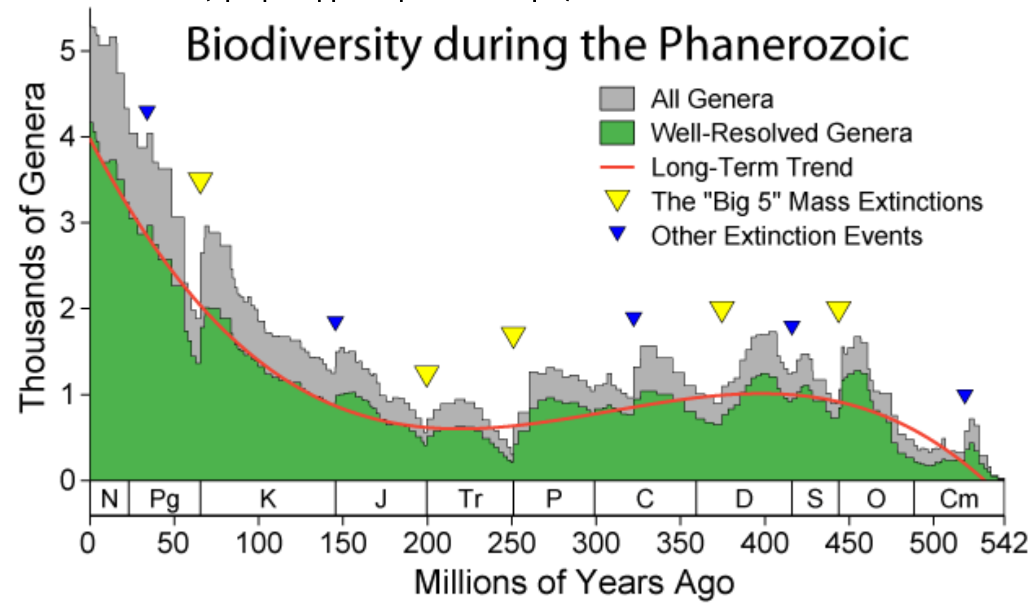
Un rappel: la classification du vivant est basée sur des ensembles qui s'emboîtent les uns dans les autres. Ainsi, par exemple, plusieurs espèces d'une même origine évolutive sont regroupées dans un genre, et ainsi de suite... (vous n'avez pas à connaître le nom des différents groupes) Schéma perso/wikimedia



La biodiversité évolue: de nouvelles espèces se forment à partir d'une, et disparaissent après quelque temps en ayant donné naissance, ou pas, à d'autres espèces. Ainsi, la biodiversité de l'époque A se limite à 1 espèce, puis 2 pour l'époque B, 5 pour C, 6 pour D et E et enfin 7 pour le «présent» pour lequel le nombre d'espèces «disparues, par contre, s'élève à 22.

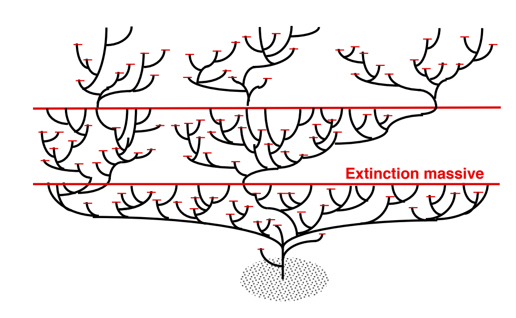
13 La biodiversité a une histoire

La biodiversité se modifie au cours du temps sous l'effet de nombreux facteurs. L'étude des fossiles à permis de reconstituer l'évolution de la biodiversité depuis 550 millions d'années environ (époque appelée phanérozoïque).



Évolution de la biodiversité marine depuis 542 millions d'années. En gris: tous les genres suspectés, en vert, les données les plus sures. La ligne rouge correspond à une valeur «moyenne». Le présent est à gauche. D'après Rohde & Muller (2005). Schéma wikimedia.

Malgré le manque de précision de ces études, il semble bien que la biodiversité ait fortement augmenté depuis 200 millions d'années. Toutefois, de brusques baisses apparaissent, causées par des extinctions massives, dont 5 ont pu être pleinement caractérisées (la dernière, il y a 65 millions d'années, a vu la disparition des célébrissimes dinosaures - 6). Depuis quelques milliers d'années, il apparait également que l'influence humaine, de plus en plus importante, entraine une réelle décroissance de la biodiversité, mais dont l'impact exact est difficile à estimer.



De temps à autre, des extinctions massives, d'origine diverse (impact de météorites, changements climatiques...) taillent le buisson du vivant: de nombreuses espèces disparaissent, les survivantes prenant un nouveau départ. Ces évènements, heureusement rares, font intervenir le hasard dans l'évolution des espèces.

---

1 - Car la fossilisation d'un être vivant est exceptionnelle, et concerne surtout les organismes à corps dur.

2 - Vous avez dû utiliser en TP des «clés de détermination» basées sur des caractères facilement (enfin, en principe) observables, afin de nommer végétaux et animaux.

3 - Ainsi, entre 1978 et 1987 ont été découvertes 26 espèces de mammifères et... 7222 espèces d'insectes!

4 - sans parler du cas des bactéries, tellement nombreuses qu'elles demandent des méthodes de recherche particulières.

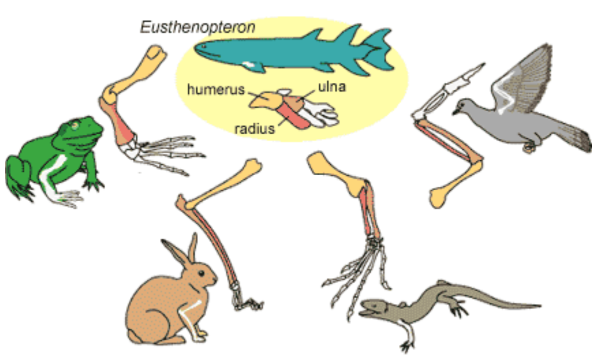
5 - c'est à dire qui concerne les champignons

2 - La biodiversité est organisée en groupe d'êtres vivants apparentés

Lorsque vous avez, l'an dernier, étudié l'évolution des espèces (1), vous avez dû découvrir que dans un même groupe de la classification sont regroupées des espèces qui ont souvent «un air de famille». Selon les groupes, ces ressemblances sont plus ou moins directement visibles, mais il en est un, que vous connaissez mieux que les autres, dans lequel elles sont particulièrement faciles à mettre en évidence: les vertébrés (2).

Certes, tous les vertébrés partagent de nombreux caractères, par lesquels ils sont définis: ce sont des animaux «polarisés» (avec un avant et un arrière), à symétrie bilatérale (ils ont un axe de symétrie), possèdent un squelette et des vertèbres. Mais ce n'est pas tout.

La disposition des os des membres chez les mammifères (terrestres, marins et volants), les oiseaux, les lézards et les grenouilles permet de découvrir une même organisation d'ensemble: tous les membres sont constitués des mêmes os aux mêmes emplacements. Si l'on effectue ces comparaisons avec des vertébrés fossiles, on retrouve là aussi des structures communes.



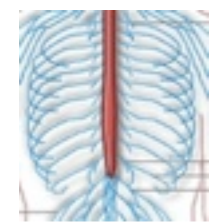
Tous les vertébrés actuels possèdent des membres qui ont la même structure : un os (humérus ou fémur), puis deux (radius/cubitus ou tibia/péroné), puis les doigts (en simplifiant). Cette structure se retrouve dans les nageoires du fossile Eustenopteron; qui fait peut-être partie des ancêtres communs à tous les vertébrés tétrapodes (à 4 membres). Schéma Berkeley university

Cette même organisation générale ne s'arrête pas au squelette: la disposition et l'organisation des membres et des organes internes sont également très voisines (3). Cette organisation commune a été mise en lumière dès 1846 par l'anatomiste R. Owen, qui alla jusqu'à tracer le «portrait robot» commun à tous les vertébrés sous la forme d'un animal imaginaire (4). En effet, tous les vertébrés ont en commun:

- un regroupement vers l'avant du corps de divers organes: cerveau, crâne rigide, bouche, organes des sens en double exemplaire... Tous ces organes forment la tête
- un cerveau massif, contenu dans le crâne, relié à un axe nerveux dorsal
- un système circulatoire fermé, avec un gros vaisseau, l'aorte, situé entre l'axe vertébral et le tube digestif
- un tube digestif en position ventrale
- deux paires de membres symétriques (5)
- un appareil reproducteur avec deux sexes distincts et séparés (6)

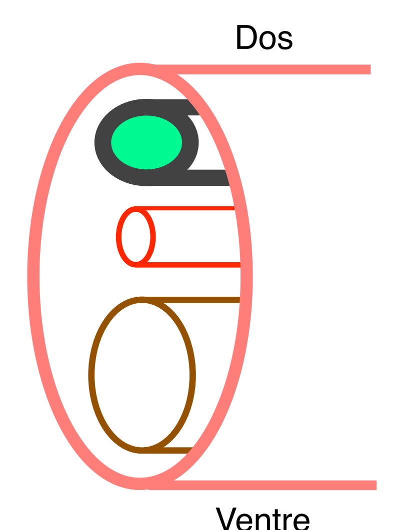


Le vertébré «modèle» selon Owen, en 1846: il regroupe les caractéristiques communes à tous les vertébrés.



De plus, il existe aussi chez les vertébrés adultes (7) des traces de structures identiques qui se répètent en segmentant le corps, comme des anneaux empilés: les côtes, les vertèbres, la disposition des nerfs partant de la moelle épinière montrent cet empilement (*voir schéma ci-contre : système nerveux au niveau de la cage thoracique; moelle épinière en rouge, nerfs en bleu. D'après ppg, Wikimedia*).

Cette organisation commune s'explique par une origine commune: tous les vertébrés sont apparentés, en ce sens qu'ils partagent tous un ancêtre commun, ce qui explique leur unité d'organisation. Cette conclusion, tirée d'un examen morphologique, a été confortée par de nombreuses autres observations (8) ainsi que par l'analyse des gènes des vertébrés, qui sont eux aussi très similaires et confirment l'existence d'une origine commune (9)



L'organisation commune à tous les vertébrés: du dos vers le ventre, en trouve un axe vertébral (noir) qui renferme la moelle épinière (verte), puis l'artère aorte (rouge) et enfin le tube digestif (marron). Ces organes se trouvent dans une cavité générale et sont enveloppés de muscles (en rose) recouverts de peau.



Un vertébré se reconnait au premier coup d'oeil. Ici, l'attitude de celui de droite laisse penser qu'il peut s'agir de l'ancêtre commun de nombre de lycéens, voire de certains professeurs... Dessin JP Petit - savoir sans frontière

---

1 - Je sais, c'était le fin de l'année, vous aviez les voyages scolaires, le cinéma, le théâtre.... alors révisez donc le chapitre correspondant du manuel de troisième!

2 - En plus, vous en faites partie....

3 - En TP, vous avez dû comparer ainsi, en les disséquant, deux vertébrés (au hasard, une souris et une grenouille, non ?)

4 - Cet animal, sorte de vertébré «idéal» avait été appelé par Owen un archétype.

5 - Qui peuvent ensuite disparaitre secondairement, comme chez les cétacés ou les serpents, mais leurs traces subsistent souvent cachées dans le corps de l'animal, dans ses embryons, ou dans ses gènes...

6 - Il existe quelques vertébrés «transformistes» capables d'être d'un sexe une partie de leur vie, puis d'un autre, mais jamais des deux en même temps!

7 - Et c'est parfois encore plus visible chez les embryons, mais c'est une autre histoire.

8 - Comme mentionné dans le chapitre correspondant de troisième. Mais vous le savez, puisque vous l'avez relu. Non ?

9 - L'ancêtre commun des vertébrés remonte à plus de 500 millions d'années. Il ressemblait probablement (la chose est discutée) à une espèce connue à l'état fossile du nom de Pikaia, organisme nageur présentant une sorte de colonne vertébrale.

3 - La diversité des allèles est un des aspects de la biodiversité.

Chaque individu possède, au maximum, deux allèles d'un même gène. Par contre, dans une population, il peut y avoir plusieurs dizaines d'allèles pour un même gène, ces derniers se trouvant regroupés deux par deux dans les individus. Lorsque ces individus vont se reproduire, ces allèles vont se redistribuer et former de nouveaux couples. Plus le nombre d'allèles des différents gènes est important et plus la diversité génétique de la population est importante.

Tout au long de l'histoire d'une population, certains allèles vont se retrouver dans un nombre variable d'individus (1). Cette modification, largement due au hasard, de la diversité des allèles d'un gène dans une population est ce que l'on appelle la dérive génétique (2).

Si la population est très importante, le % des divers allèles ne vas pas changer beaucoup, mais les choses sont différentes si on se place dans le cas d'une population de faible effectif (3): dans ce cas, un allèle rare peut se retrouver favorisé et se répandre dans la population au point de devenir majoritaire (4).

Un exemple extrême vous aidera à comprendre: imaginez qu'un groupe d'iguanes, réfugiés dans un arbre lors d'une inondation, soit emporté avec l'arbre par un fleuve, qui les dépose sur une petite île, sans iguanes. Dans le groupe, il n'y a qu'un seul mâle: même si ce mâle possède des allèles rares de certains gènes, il n'est pas difficile de comprendre que ces allèles vont rapidement devenir majoritaires dans la nouvelle population d'iguanes dont il va être à l'origine.

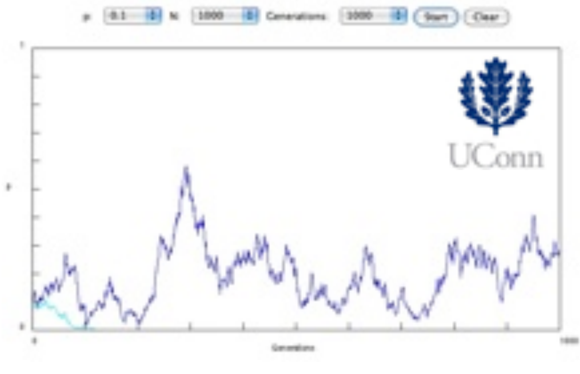
Ainsi, plus l'effectif d'une population est faible et plus la dérive générique y est marquée. De plus, les nouveaux allèles d'un gène qui peuvent apparaître dans une population isolée par mutation ne seront pas transmissibles à la population de départ: la dérive génétique s'accentue ainsi.

Donc, dans une population coupée de celle qui lui a donné naissance (comme c'est le cas, par exemple, sur des îles récemment colonisées, mais aussi, à grande échelle, après des «crises biologiques» comme les extinctions massives), les allèles présents vont se recombiner selon des proportions différentes de celle de sa population d'origine: la dérive génétique (par rapport à la population du continent) va s'accélérer.

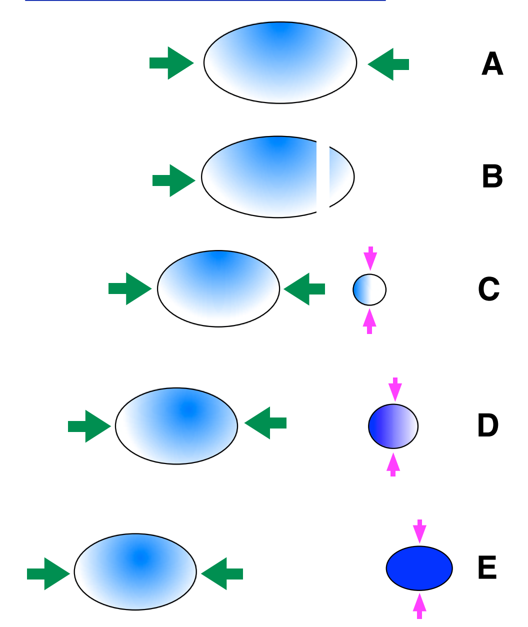
De plus, les allèles (5) vont également subir une sélection à cause de l'influence du milieu (parfois très différent de celui de départ): imaginez par exemple que ces allèles influent sur la couleur du corps: ceux qui fournissent un camouflage contre les prédateurs permettront aux individus qui en sont dotés de survivre plus longtemps, en moyenne, et donc de se reproduire davantage, ce qui contribuera à multiplier le % d'individus porteurs de ces allèles de «camouflage» (6). Il existe donc une sélection naturelle des gènes correspondant à des caractères qui favorisent la reproduction (et donc la survie) des individus.

L'accumulation sur un grand nombre de générations de la dérive génétique couplée à l'influence de la sélection naturelle peut aboutir à la formation d'une (ou plusieurs) nouvelles espèces.

Cette idée a pu être facilement vérifiée: c'est dans les îles, justement, que la biodiversité est maximale, certaines possédant des espèces qui n'existent nulle part ailleurs (flore de Corse, Marsupiaux d'Australie, Lémuriens de Madagascar en sont quelques exemples célèbres). De plus, l'apparition et l'accumulation de caractères conduisant à la définition d'une nouvelle espèce ont été observées dans de nombreuses populations animales et végétales, et ont même été testées expérimentalement chez les bactéries (7).



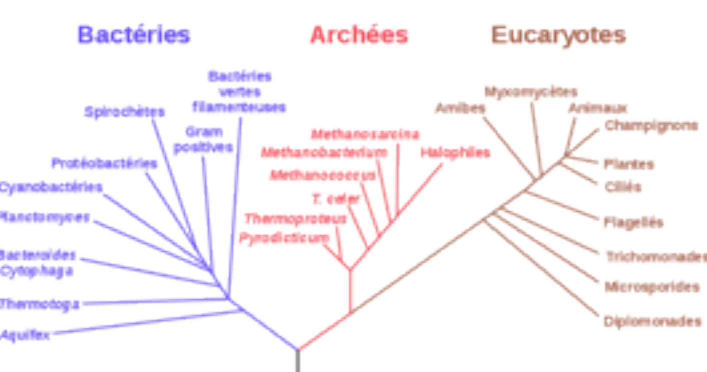
Simulation mathématique de la répartition d'un allèle dans un population selon son effectif. Ici, au départ, 10% de la population porte un certain allèle d'un gène. Dans une population de 1000 individus (graphe bleu ciel),l'allèle disparaît en une centaine de générations. Par contre, dans une population plus réduite de 250 individus (graphe bleu foncé) cet allèle , bien que varient beaucoup dans la population au cours du temps, se maintient pendant 1000 générations, temps au bout duquel il est répandu dans environ 1/3 des descendants de la population de départ: la dérive génétique est plus forte dans une population réduite.
Vous pouvez vous même réaliser d'autres simulations sur ce site de l'université du Connecticut.



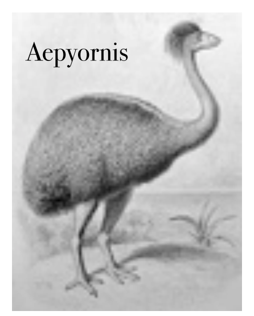
Formation d'une nouvelle espèce: En A, une population d'êtres vivants de la même espèce, représentant plusieurs allèles pour un gène, est soumise à la pression de la sélection exercée par son environnement (flèches vertes). En B, un événement (inondation, glacier, colonisation d'une île...) sépare en deux parties inégales cette population. La population nouvelle, en C, n'est pas soumise à la même sélection (flèches roses - car elle ne vit pas au même endroit). Petit à petit, elle se différencie de la précédente: la dérive génétique de ses allèles s'accentue; de nouveaux allèles apparaissent (D) et se recombinent avec les précédents. Au bout d'un nombre suffisant de générations, les individus des deux populations sont si différents qu'ils ne pourraient plus se reproduire ensemble: une nouvelle espèce (en E) est née.
Les différentes étapes de ce mécanisme ont été observées dans tout le monde du vivant, les étapes A à C ont été réalisées chez de nombreux animaux et plantes domestiques, les étapes A à D ont été réalisées sur des bactéries. De récentes découvertes laissent entendre que la vitesse à laquelle se réalise ce processus peut être extrêmement variable.

---

1 - Nombre qui dépend de ceux qui se sont reproduits ou pas, du nombre de leurs descendants, du nombre d'allèles au départ...
2 - Cette phrase peut paraitre compliquée, mais en fait elle est très simple: la relire lentement
3 - Vous remarquerez que j'emploie le même vocabulaire qu'en math; c'est exprès: cette dérive n'est qu'un problème de statistiques - vous pourrez même l'illustrer en cours de math.
4 - Ce qui ne va pas sans poser problème si cet allèle diminue, par exemple, la résistance des individus à certaines maladies: ainsi, la population de lions isolée dans le cratère du volcan Ngorongoro souffre de nombreuses maladies à cause d'une reproduction «en circuit fermé», sans apport de nouveaux allèles - voir exercice 4.
5 - Vous remarquerez que je parle des allèles comme s'il s'agissait de personnages. C'est exactement cela: pour certains biologistes, les gènes sont la «vrai» forme de vie, et les corps ne sont que des véhicules qu'ils emploient pour parvenir à se reproduire. Une conception intéressante, si on ne la prend pas au pied de la lettre!
6 - Voir exercice 3
7 - Qui présentent l'avantage, vu leur vitesse de reproduction, de voir les générations se succéder toutes les 20 minutes. Des expériences on montré, par exemple, que de nouvelles voies de transformation chimique sont utilisées par des bactéries isolées de leur population de départ et soumises à une sélection naturelle différente.



Ce graphique, établi d'après l'étude et la comparaison de certains acides nucléiques par le biologiste Carl Woese, montre la parenté évolutive de l'ensemble du monde vivant connu (vous n'avez pas à retenir tous ces noms barbares, qui vous permettront de renouveler votre stock d'invectives). Vous remarquerez que tous les êtres vivants «visibles à l'oeil nu» que vous connaissez sont situés dans les trois groupes du bout de la branche de droite: l'essentiel de la biodiversité du vivant est invisible pour les yeux... Schéma NASA/Astrobiology institute.





L'oiseau - éléphant Aepyornis de Madagascar (500 Kg!), le Dodo de l'île Maurice et le thylacine, ou loup marsupial, d'Australie sont trois animaux disparus à la suite d'une surexploitation humaine (respectivement au premier millénaire, vers 1740 et en 1913). Toutefois, la majorité des espèces qui disparaissent suite aux activités humaines consistent en insectes, vers et champignons.



Le développement humain induit une diminution de la biodiversité

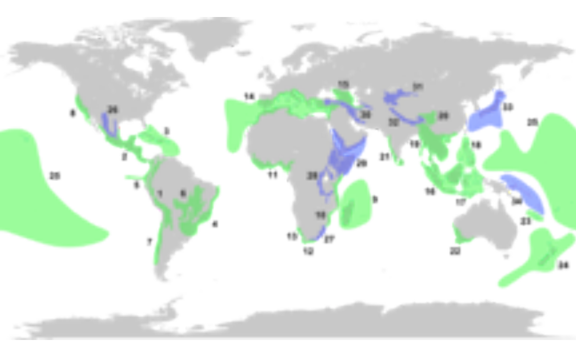
Depuis l'invention de l'agriculture (1), le développement de la population humaine ainsi que de ses besoins et de ses activités aboutit à une diminution significative (2) de la biodiversité. Historiquement, c'est la surexploitation (chasse trop importante) qui a conduit à la disparition de certaines espèces, comme, par exemple, le dodo de l'île Maurice, l'oiseau éléphant Aepyornis de Madagascar ou le loup marsupial d'Australie.

Actuellement, c'est la croissance de la population humaine impliquant l'occupation et l'utilisation de territoires toujours plus étendus qui cause la disparition de nombreuses espèces qui se voient privées d'habitat.

Ce problème est particulièrement important au niveau des îles, qui abritent souvent des espèces rares et, à cause de leur isolement (et de la dérive génétique qui en a résulté dans l'histoire de leurs populations), qui sont limitées à des territoires peu étendus. Ces espèces, dites endémiques, peuvent se révéler extrêmement fragiles en cas de modification de leur habitat (3). A cet égard, l'exploitation trop importante de certaines forêts ainsi que le déboisement à des fins agricoles (pour cultiver les terres) ou alimentaires (utilisation du bois pour la cuisine) peuvent restreindre l'habitat de certaines espèces au point de les mener vers l'extinction (4).

Toutefois, de nombreux programmes de protection des environnements et de développement concerté avec les populations locales (5) permettent d'espérer endiguer cette perte de biodiversité. Ainsi, le taux d'extinction des espèces (bien que très mal connu) diminue depuis 1950, et de nombreux scientifiques estiment qu'en raison de l'inégale répartition de la biodiversité sur notre planète (voir carte) des mesures de protection comme l'établissement de réserves naturelles, même en ne touchant que 1,4% de la surface terrestre, permettraient de sauver 44% des végétaux et 35% des vertébrés menacés de disparaître.

Les efforts de protection de la biodiversité doivent donc être poursuivis et développés, sans oublier pour autant la nécessité d'assurer un avenir décent (et un présent acceptable!) à une majorité d'êtres humains.



Carte des zones de biodiversité maximale. Vous remarquerez l'importance des îles. Schéma Wikipédia, d'après deux articles de la revue Nature ([voir ici pour plus de détails]).

Résumé de l'épisode.

La biodiversité s'exprime au niveau des écosystèmes, des espèces, mais aussi des gènes (et donc des allèles). La biodiversité du monde vivant actuel est un instantané dans le déroulement de l'évolution du vivant: elle possède une histoire et a fortement varié dans le passé, en particulier lors des extinctions massives où elle a été fortement réduite.
Actuellement, l'activité humaine est un facteur important de décroissance de la biodiversité de certains écosystèmes.
Au sein de la biodiversité, des groupes d'êtres vivants sont facilement identifiables au moyen de caractères communs conduisant à leur assigner une origine évolutive commune. Un des mécanismes de l'évolution, à savoir la formation de nouvelles espèces, s'explique par la dérive génétique (modification aléatoire de la diversité des allèles) et par la sélection naturelle par le milieu des individus les plus aptes à se reproduire. Ces mécanismes sont souvent plus marqués s'ils s'exercent sur une population réduite (comme dans les îles, ce qui explique leur remarquable biodiversité).

1 - Et peut-être même avant: à la suite de l'arrivée des humains en Amérique du Nord il y a 12000 ans, on a assisté à la disparition de 80 % des animaux de plus de 50 Kg (les plus visibles). Toutefois, d'autres facteurs (comme les variations du climat) ont pu jouer dans cette diminution ancienne de la biodiversité.

2 - Mais extrêmement difficile à mesurer. Certains biologistes pensent que les humains sont en train de réaliser l'équivalent d'un extinction massive, mais les données sont beaucoup trop imprécises pour affirmer cela en toute confiance.

3 - Ainsi, sur les 90 espèces de mammifères disparues au cours des derniers 500 ans, 75 % étaient des espèces habitant des îles

4 - C'est le sort qui menace de nombreux grands félins (jaguars, tigres...) dont les territoires sont si réduits qu'ils ne peuvent plus se reproduire dans de bonnes conditions, en particulier en rencontrant des partenaires qui ne soient pas de leur famille: leur biodiversité génétique décline, même si leur espèce existe encore, pour le moment)

5 - les hommes qui meurent de faim, ou d'une grande pauvreté ne peuvent pas mettre en balance leur survie et la protection de l'environnement!

Questions

1/ Qu'est-ce qu'un allèle ?
2/ Qu'est ce que la dérive génétique ?
3/ Qu'est-ce qu'un vertébré ?
4/ Quels sont les deux mécanismes contribuant à la formation de nouvelles espèces ?
5/ Quelle est la principale pratique humaine actuelle à l'origine d'une diminution de la biodiversité ?
6/ Qu'est ce que la biodiversité ?
7/ Les vertébrés ont ils tous le même squelette ?

Colles

1/ Pourquoi introduire une nouvelle espèce dans un environnement peut-il conduire à une perte de biodiversité ?
2/ Quels sont les 8 groupes principaux de vertébrés ?
3/ Expliquez pourquoi la biodiversité est plus élevée dans les îles que sur les ensembles continentaux
4/ Définir une perte de biodiversité au niveau des espèces et des gènes

Exercices

1 - Zoo - logique. (3 pts)

Les gestionnaires de zoo, pour obtenir de nouveaux animaux, font souvent des échanges de mâles et femelles avec d'autres zoos, parfois situés à très grande distance. Pourquoi se compliquent-ils la vie en faisant voyager longuement des animaux alors qu'ils disposent dans leur établissement de mâles et de femelles dont ils connaissent parfaitement l'histoire ?

2 - Leonard (est un quoi, déjà ?) (6 pts)



Le célèbre peintre sculpteur géographe -ingénieur - chercheur (compléter vous-même) Léonard de Vinci, vers 1500, a effectué des études d'anatomie sur différents animaux, dont des humains (voir par exemple le dessin ci-contre). Il compara ensuite l'organisation des divers squelettes.

21 - A quels groupes d'animaux (et à quels animaux) peuvent appartenir les parties du squelette représentées ? Quelles sont ces parties ?

22 - Bien qu'il n'ai pas su l'expliquer, Leonard a découvert en comparant l'anatomie des animaux qu'il disséquait (humains, singes, vaches, ours, grenouille, chevaux...) d'étonnantes correspondances, lesquelles ?

23 - Pourquoi, malgré son génie, Léonard ne pouvait-il pas soupçonner la cause de ces correspondances ? (Réfléchissez un peu, proposez une hypothèse logique).

3 - Chrysopes (10 pts)



Les Chrysopes sont des insectes (*photo ci-contre, M Betley/ wikimedia*). Les deux espèces *Chrysopa carnea* et *Chrysopa Downesi* vivent dans les mêmes forêts, mais pas de la même façon:

C. Carnea est vert au printemps et bruni en automne, habite les arbres à feuille caduques* et se reproduit deux fois l'an, une fois l'été, une autre l'hiver.

C. Downesi est vert foncé toute l'année, habite dans des conifères et se reproduit au printemps.

31 - Expliquer en quoi la coloration de ces insectes est liée à une sélection naturelle des individus qui peuvent se reproduire.

32 - Des études de génétique ont montré que les deux espèces ne différent que par 6 gènes. Quelles conclusions pouvez-vous en tirer ?

33 - Si, en laboratoire, on réunit les deux espèces en faisant croire (en agissant sur la durée du «jour» avec un éclairage artificiel) à chacune que c'est sa période de reproduction, C Carnea et C Downesi s'accouplent alors et donnent naissance à) une descendance hybride, qui peut à son tour se reproduire.

Quelles conclusions, pouvez-vous tirer de cette constatation quant à ces deux espèces? Quelles hypothèses pouvez-vous envisager au sujet de leur origine et de leur histoire ?

4 - Le crépuscule des lions (6 pts)

En Tanzanie, une population d'une centaine de lions vit dans une région formée par l'effondrement de l'ancien volcan Ngorongoro. Cette dépression de 20 km de diamètre et 330 Km^2, réserve naturelle, abonde en animaux sauvages et sources d'eau. Pourtant, la population de lion est en mauvaise santé: leur fécondité est basse et leur système immunitaire affaibli. Plusieurs études ont montré que tous ces lions avaient quasiment les mêmes allèles. Il est possible que cette population de lions, qui vivent isolés dans par le cratère des autres lions vivant à proximité; disparaisse. Cette situation date de 1962. A cette époque, une épidémie déclenchée par une mouche piqueuse tue 70 lions sur les 80 existants. Seules 4 femelles survivantes ont pu s'accoupler avec succès avec 7 Lions qui ont réussi à venir de l'extérieur du cratère (il n'y avait plus assez de mâles pour leur «barrer l'entrée» en défendant le territoire). La plupart des lions actuels sont les descendants directs de ce groupe de 11 individus de 1962.

41 Expliquez pourquoi et comment l'épidémie de 1962 est liée à la mauvaise santé de la population actuelle de lions

42 Quel moyen pourrait-on employer afin d'essayer d'éviter la disparition de cette population de lions ?

5 - De l'importance d'être divers (5 pts).

La ville de New York est principalement alimentée en eau à partir d'une région montagneuse de 4000 Km2 située à 200 km au nord (les Catskill mountains et les sources du Delaware). Dans les années 1990, la réglementation a imposé d'améliorer la qualité de cette eau. Deux possibilités existaient:

A - construire une ou plusieurs usines de traitement et dépollution de l'eau arrivant à New York. Cela aurait couté 6 milliards de $, plus 500 millions de frais chaque année.

B - préserver et améliorer les différents écosystèmes de la zone de captage, de façon à avoir une eau pure dès le départ des sources. Le coût aurait été d'un milliard de $ répartis sur 10 ans.

51 - Après avoir précisé (pour la forme, vous êtes en seconde, non ?) quelle a été la solution retenue par la ville de New York, vous chiffrerez l'économie que lui ont permis de réaliser le maintient de milieux d'une grande biodiversité.

52 - Cet exemple permet d'illustrer un intérêt supplémentaire à l'entretien d'une biodiversité suffisante dans de nombreux milieu. Quel est donc cet intérêt ?

53 - En quoi la pureté de l'eau est-elle liée à une bonne biodiversité de la région de captage des sources ?

Corrections

Questions

1/ Un allèle est une «version» d'un gène. Plus exactement, c'est une des variantes de ce gène. Chaque gène est représenté par deux allèles, l'un étant d'origine maternelle et l'autre paternelle.
2/ La dérive génétique est la variation au hasard de la diversité des allèles, c'est-à-dire de leurs proportions respectives et de leur répartition à l'intérieur d'une population.
3/ Un vertébré est un animal a symétrie bilatérale, possédant une tête, un squelette osseux au moins au niveau du crâne et une suite de vertébrés entourant un axe nerveux dorsal.
4/ Les deux mécanismes contribuant à la formation de nouvelles espèces sont la dérive génétique et la sélection naturelle
5/ La principale pratique humaine actuelle à l'origine d'une diminution de la biodiversité est la réduction des habitats utilisés par la faune et la flore sauvage.
6/ La biodiversité est la diversité biologique. Elle s'exprime au niveau des écosystèmes, des espèces et des gènes.
7/ Les vertébrés n'ont pas tous le même squelette (au sens strict, et c'est heureux!), mais, par contre, tous leurs squelettes sont organisés de la même façon, et on peut retrouver les mêmes os aux mêmes emplacements, même si leur forme et leur étendue varient fortement, ou même s'ils ont fusionné avec d'autres os.

Colles

1/ Une nouvelle espèce introduite dans un environnement nouveau peut parfois s'y développer de façon importante, notamment par manque de prédateur. Cette espèce «envahissante» (le mot exact est invasive) risque aussi:
- de se nourrir d'espèces locales peu armées contre un nouveau prédateur arrivant brusquement dans leur écosystème, ce qui peut conduire à l'extinction de certaines.
- de faire concurrence à des espèces locales, qui devront disputer leurs ressources avec le nouvel arrivant. Si l'espèce invasive se multiplie rapidement, les espèces locales concurrencées risquent de disparaitre par manque de ressources.

On a donc dans le milieu une nouvelle espèce en plus et de nombreuses espèces locales en moins: la biodiversité diminue.

2/ J'espère que vous n'aviez pas jeté vos cours de sixième ! (sinon, vous avez du chercher un peu partout, tant mieux, c'était le but de cet exercice!). Vous avez du trouver les 8 groupes principaux (appelés «classes») suivants (listés sans ordre particulier):
- les Chondrychtiens (squelette de cartilage = raies et requins)
- les mammifères (tétrapodes avec poils et mamelles)
- les oiseaux (tétrapodes à plumes)
- les lissamphibiens (tétrapodes à 4 doigts/main, grenouilles, tritons et salamandres)
- les actinoptérygiens (avec des nageoires rayonnées, thons et morues...)
- les chéloniens (tétrapodes à carapace dorsale et ventrale = tortues)
- les crocodiliens (tétrapodes, pas besoin de vous faire un dessin)
- les squamates (tétrapodes = serpents et lézards)

3/ La biodiversité est plus élevée dans les îles que sur les ensembles continentaux, car les îles constituent de nombreux territoires d'une étendue nécessairement limitée, peuplés au départ par des populations de faible effectif qui ensuite ont été isolées pendant toute leur histoire.
On est donc en présence d'une biodiversité:
- des écosystèmes, liée au très grand nombre d'îles et à leur répartition mondiale
- des espèces et des gènes, car la dérive génétique et la sélection naturelle, particulière à chaque île, ont chaque fois conduit à une évolution à la fois particulière et unique des êtres vivants (et plus l'isolement de l'île est ancien, plus cette évolution particulière est génératrice de biodiversité).

Quelques exemples d'îles à la biodiversité particulièrement riche: Madagascar, nouvelle Zélande, nouvelle Calédonie, Indonésie, Caraïbes, Australie (un continent, mais si isolé qu'on peut biologiquement le considérer comme une île!)

4/ Une perte de biodiversité se manifeste par:
- au niveau des espèces : extinction de plusieurs espèces (le plus souvent au niveau des insectes, des vers et des champignons)
- au niveau des gènes : disparition de nombreux allèles d'un gène, au point que toute l'espèce ne porte plus, pour un gène donné) qu'un seul allèle sur de nombreux disponibles au départ.

Il peut y avoir une perte de la biodiversité génétique d'une espèce sans que cette dernière ne disparaisse (mais c'est généralement un mauvais signe pour l'espèce), mais si une espèce disparait, tous ses gènes spécifiques disparaissent avec elle !

Exercices

1 - Zoo - logique. (3 pts)

Les gestionnaires de zoo souhaitent obtenir des animaux en bonne santé. De plus, pour certaines espèces rares, les zoos sont la dernière chance de conserver un stock de gènes suffisamment diversifié.
Si les animaux d'un zoo se reproduisaient entre eux, au bout de quelques générations leur diversité génétique s'appauvrirait: on retrouverai toujours les mêmes allèles pour les mêmes gènes, et des problèmes de santé liés à la présence d'allées défectueux, pouvant dès lors plus facilement se retrouver en double exemplaire dans un individu, se poseraient alors (c'est ce que l'on appelle la consanguinité). Échanger des animaux d'origines diverses pour la reproduction permet donc de maintenir la diversité génétique des animaux captifs.

2 - Leonard (est un quoi, déjà ?) (6 pts)

21 - Une question facile (ça vous change!). Vu que les parties représentées sont des os, il s'agit bien entendu de vertébrés. À droite, la position debout ne laisse pas de doute: il s'agit de la représentation du squelette du membre postérieur d'un humain, qui est ici comparé au squelette du membre postérieur d'un animal qui, au vu de sa taille, de sa posture et de la présence d'une queue, pourrait bien être un chien.

22 - Les animaux que Leonard disséquait (humains, singes, vaches, ours, grenouille, chevaux...) étaient tous des vertébrés. Il a donc découvert (ou vérifié) que la structure des membres était similaire entre ces animaux. Il existait une correspondance entre l'anatomie d'un membre humain et celui d'un ours ou d'une grenouille, différents degrés de ressemblance... Cette ressemblance ne s'arrêtait pas au squelette: en tant que peintre et sculpteur, Leonard pouvait aussi relever des correspondances entre les différents muscles, leurs emplacements et leurs fixations, chez ces différents vertébrés.

23 - Malgré son génie, Léonard ne pouvait pas soupçonner la cause de ces correspondances, car celle-ci implique de reconnaître comme possible non seulement une origine commune à toutes ces espèces de vertébré, mais aussi la possibilité que ces espèces aient pu changer depuis cette origine. Or, nous sommes en 1500. Toutes les questions sur l'origine sont du domaine de la religion, qui étouffe toute recherche (même si Leonard eu des doutes, motivés en particulier par des fossiles de mollusques retrouvés dans des montagnes dans la même position que les mollusques bien vivants). Penser à une origine commune impliquerait de remettre en cause des dogmes qui sont alors acceptés par tous. Léonard aurait alors manqué surtout de «liberté sociale» lui permettant de remettre en cause ce qu'il tenait pour acquis.

En sciences, il est nécessaire de «questionner l'évidence» et de rechercher toutes les interprétations possibles d'un phénomène,

quitte à remettre en cause des connaissances précédentes. Bien entendu, il faut ensuite prouver la justesse de son interprétation…

3 - Chrysopes (10 pts)

31 - La coloration de ces insectes peut elle les aider à se reproduire? Peut-être, tout simplement, peut-elle les aider à survivre jusque-là ! Voyons si la couleur de ces insectes ne pourrait pas les cacher de leurs prédateurs:

Chrysopa carnea est vert au printemps, brun en automne. Il habite les arbres à feuilles caduques, donc les arbres dont les feuilles sont… vertes au printemps et plus brunes en automne.

Chrysopa Downesi est vert foncé toute l'année et habite dans des conifères qui sont… verts toute l'année!

On a donc bien une couleur qui correspond à un camouflage protégeant les individus. Quel est le lien avec la sélection naturelle ? Il est simple: dans l'histoire de l'espèce, les gènes qui correspondaient à des couleurs différentes n'ont pas pu donner de descendance à long terme, car les animaux qui en étaient porteurs, ayant plus de risques d'être repérés par leurs prédateurs, se sont moins reproduits que les autres. Petit à petit, seuls les gènes (ou les allèles) correspondant à ces couleurs de camouflage se sont retrouvés dans les populations d'insectes de cette espèce.

32 - Les deux espèces ne diffèrent que par 6 gènes. Pourtant, elles sont différentes par leur aspect, leur mode de vie et leur période de reproduction. On peut donc en conclure qu'une variation minime au niveau des gènes suffit pour occasionner des changements suffisants au niveau des individus pour que l'on obtienne deux espèces différentes à partir d'une seule. La formation de nouvelles espèces ne demande donc pas une grande variabilité des gènes.

33 - C Carnea et C Downesi peuvent s'accoupler et donner une descendance hybride fertile. Or, une espèce est définie justement lorsque deux individus ne peuvent avoir de descendance fertile. La seule barrière naturelle qui empêche donc la reproduction entre ces deux «espèces» est que leur période de reproduction n'est pas la même. On pouvait donc en tirer deux conclusions:

- C Carnea et C Downesi ne sont pas deux espèces différentes puisqu'elles peuvent se reproduire, bien que ce soit dans des conditions artificielles.
- C Carnea et C Downesi sont bien deux espèces différentes, mais cela signifie que la «barrière reproductive» qui sépare les espèces peut être très ténue: ici, il suffit d'un changement dans la période de reproduction pour «séparer» ces deux espèces. C'est un changement minime, et ce caractère peut donc correspondre à très peu de gènes (sur les 6 de différence). Cela confirme qu'une modification d'un très petit nombre de gène peut causer un «isolement reproductif» qui définit une nouvelle espèce : la formation de nouvelles espèces ne demande pas de bouleversements génétiques.

Il y avait une troisième conclusion, susceptible de vous rapporter un point supplémentaire, si vous appliquez le «questionnement de l'évidence» vu dans la question 2: on peut (aussi) en conclure que la définition de l'espèce n'est pas suffisante, ou pas assez précise, ou pas adaptée, et doit être précisée.

Hypothèses au sujet de l'origine et de l'histoire de ces deux espèces:

Les deux espèces ne se différencient que par très peu de gènes. De plus, les organismes sont très semblables, même au niveau des gamètes, puisque l'on peut artificiellement «forcer» leur reproduction. On peut donc en déduire que ces deux espèces proviennent d'un ancêtre commun. On pourrait même proposer que l'on se trouve en présence de deux espèces en train de se créer, de se séparer. Dans ce cas, il est possible que leur histoire soit (relativement) récente, et que leur ancêtre commun remonte à une époque peu éloignée (évolutivement parlant, comme, par exemple, quelques milliers d'années «seulement»!).

4 - Le crépuscule des lions (6 pts)

41 - L'épidémie de 1962 a brutalement réduit l'effectif de la population de lions, passé de 80 à 10. Seuls dix animaux sont donc à l'origine de tous les lions actuels. Or, la diversité génétique de 10 lions est inférieure à celle de 80 individus. Pour chaque gène, les allèles présents dans la population actuelle sont les mêmes (sauf mutation) que ceux des dix individus originaux. Ils peuvent même être moins nombreux (et c'est le cas puisque tous les individus, ou presque, présentent les mêmes allèles), certains individus n'ayant pas pu se reproduire depuis, et leurs allèles étant perdus.

Si un ou plusieurs de ces allèles était «défectueux», il pouvait être compensé, chez les individus sains, par l'autre allèle (*phénomène de dominance, étudié en troisième - oui, il ne faut rien oublier d'une année sur l'autre!*). Mais si la reproduction se fait entre individus d'un nombre limité, il y a une forte probabilité pour que deux allèles «déficients» d'un même gène se retrouvent dans le même individu (et ce d'autant plus que la reproduction entre frères et soeurs, par exemple, vu la faiblesse de l'effectif, sera inévitable). Cet individu sera alors affecté par ce gène «moins performant» ou défectueux, influant par exemple sur sa fertilité ou sa résistance aux maladies. C'est donc l'effectif trop limité des lions «fondateurs» qui est à l'origine de la mauvaise santé de la population actuelle de lions

42 - Pour éviter la disparition de cette population de lions, il serait logique de diversifier le stock d'allèles disponibles, de régénérer une biodiversité génétique suffisante. Pour cela, on peut imaginer amener dans la région du Ngorongoro des lions venus de l'extérieur, en bonne santé, et en nombre suffisant pour constituer un apport de nouveaux allèles capable de contrebalancer la mauvaise influence du nombre trop limité d'allées de chaque gène présent dans la population du Ngorongoro (*précisons que cette idée, excellent au plan théorique, se révèle difficilement applicable en pratique, les lions du Ngorongoro étant une centaine à présent, et surtout chaque mâle défendant son territoire contre les nouveaux venus…*)

5 - De l'importance d'être divers (5 pts).

51 - Je pense qu'il est assez évident de conclure que la ville de New York a choisi l'option B. L'économie réalisée doit se calculer sur 10 ans, puisque la solution B indique cette période. La solution A aurait couté 6 + (0,5 x 10) = 11 milliards de $ (!). La solution B en a couté 1, sur le même temps. L'économie réalisée a donc été de 11-1=10 milliards de $… La biodiversité, ç'est rentable !

52 - L'entretien (et la protection) d'une biodiversité suffisante dans de nombreux milieux présente un intérêt économique certain: des écosystèmes variés sont par exemple le signe d'une absence de composés toxiques nuisibles pour les êtres vivants, et dont la détection nécessiterai de coûteux systèmes. Ainsi, la biodiversité des lichens est un indicateur simple de la qualité de l'air. De même, la biodiversité bactérienne océanique permet l'existence de bactéries susceptibles de dégrader les hydrocarbures. Ainsi, à chaque accident responsable d'une marée noire, les capacités bactériennes de destruction du pétrole s'avèrent bien plus efficaces que les nécessaires efforts des humains pour nettoyer et restaurer l'environnement ainsi dégradé.

53 - La pureté de l'eau (qui ne la rend pas pour autant potable: un léger traitement est le plus souvent nécessaire!) liée à une bonne biodiversité de la région de captage des sources, car cette biodiversité est le signe d'un environnement exempt de substances toxiques susceptibles de polluer l'eau. Les mesures de protection de la biodiversité des régions de captage impliquent que les pratiques réductrices de biodiversité (déboisage sauvage, implantation de certaines industries, occupation des sols…) soient limitées, contrôlées ou interdites. Or, ces pratiques ont également une influence négative sur la qualité de l'eau, qui est ainsi favorisée indirectement par ces mesures de protection.

LE SOLEIL EST LA PRINCIPALE SOURCE D'ENERGIE DE LA BIOSPHERE

1 - La photosynthèse, une porte d'entrée dans la biosphère



Vers les années 1600, le médecin et alchimiste Jean Baptiste Van Helmont (*ci-contre*) cherche à démontrer que les quatre éléments censés composer toute la matière (voir encadré p. 30) ne sont que deux, l'air et l'eau, le feu n'étant que de la fumée «enflammée» et la terre que de l'eau «transformée». Pour confirmer ses idées, il réalise une expérience de longue durée: il plante un saule (qu'il a pesé) dans une caisse contenant une quantité de terre qu'il a aussi pesée avec soin (1). Il arrose son arbuste, cinq années durant, avec de l'eau de pluie filtrée (la plus pure disponible à l'époque). Il pèse ensuite son arbre, et trouve que sa masse a augmenté de 76 kg alors que la masse de la terre n'a diminuée que de... 57g! Pour Van Helmont, c'est là la preuve que l'eau d'arrosage s'est «changée» en bois, c'est à dire en «élément solide» identique à l'élément «Terre». (2). Même si la conclusion de Van Helmont est fausse, il montre sans le vouloir que les végétaux, contrairement à l'opinion commune à son époque, ne se nourrissent pas en aspirant le sol avec leur racine. Mais si les végétaux ne fabriquent pas leur matière à partir de la terre, et pas seulement avec de l'eau (car si on les brûle, il ne reste que des cendres, voire du charbon «de bois», c'est-à-dire du carbone, qui n'est pas présent dans l'eau...), où la trouvent-ils ?



Vers 1780, le chimiste Joseph Priestley (*ci-contre*), cherchant lui aussi à vérifier une idée erronée (la présence du phlogistique, voir encadré ci-contre), effectue une importante expérience: il veut savoir ce qui arrive à l'air ayant été mis en présence d'une combustion lorsque des végétaux sont présents. Pour cela, il met de la menthe sous une cloche de verre étanche dans laquelle il a allumé une bougie. Rapidement, la bougie s'éteint. Vingt-sept jours plus tard, Priestley, en concentrant les rayons du soleil à travers la cloche au moyen d'une loupe, se rend compte qu'il peut rallumer la bougie! Priestley écrit «*J'ai découvert accidentellement une méthode pour restaurer l'air qui a été blessé par la combustion des bougies, et j'ai découvert l'un au moins des moyens de restauration utilisés dans ce but par la nature. C'est la végétation*».

En 1779, le médecin et Botaniste Jan Ingenhousz montre que les végétaux absorbent «l'acide carbonique» (le CO_2). Jean Senebier, en 1782, intègre les découvertes précédentes et montre que cette consommation de CO_2 accompagnée de libération d'O_2 nécessite de la lumière et se limite aux parties vertes des plantes. Senebier est le premier a affirmer que le carbone du CO_2 constitue la «nourriture» de la plante (3)...

1 - On pourrait dire que Van Helmont a réalisé une «bonne» expérience pour de «mauvaises» raisons, mais cela nous montre qu'en science l'expérience ne saurait se suffire à elle-même : c'est son interprétation qui lui donne toute sa valeur. Vous constaterez aussi toute l'importance de la notion de mesure, de l'utilisation des chiffres, pour faire avancer la connaissance scientifique.

2 - *Mon cher Watson (impossible de résister* à pareil jeu de mot). Plus sérieusement, par le mot «terre», les anciens Grecs et les alchimistes ne pendaient pas seulement à «la terre» sur laquelle vous marchez, mais à toute matière «dure et sèche».

3 - Mais il pense que le CO_2 est absorbé avec l'eau par les racines de la plante.

Le contexte

Bataille autour d'une idée, le phlogistique

Dans l'antiquité grecque, la matière était décrite par la combinaison de 4 éléments (air, terre, eau et feu). Selon cette conception, tout corps mélangé avec l'air et chauffé devait donner du «feu». Ce n'était pas le cas, et lorsque, au 16ème siècle, des scientifiques osèrent aller contre l'autorité des maîtres grecs: ils voulurent, par exemple, expliquer pourquoi une bougie brulante dans un volume d'air limité finissait par s'éteindre.

Ils proposèrent une nouvelle idée pour expliquer les combustions, le phlogistique: toute substance capable de bruler était censée contenir une certaine quantité de phlogistique, qui s'échappait d'elle en formant les flammes.

Le chimiste anglais Priestley, persuadé de l'existence du phlogistique, découvrit accidentellement le dioxygène en effectuant diverses expériences sur les combustions. Pour lui, lorsque l'air était rempli de phlogistique, il ne pouvait en accepter davantage, et les combustions s'arrêtaient.

À la même époque, le Français Lavoisier, en pesant la matière participant et provenant d'une transformation chimique, prouva que le phlogistique n'existait pas. Priestley, lui, ne croyait pas Lavoisier, pensant que ses balances n'étaient pas assez sensibles.

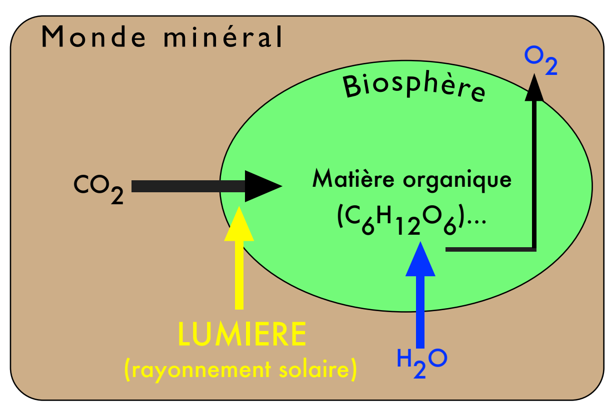
Confiant dans l'existence du phlogistique, Priestley se posa alors une question logique: vu le nombre de combustions se produisant dans l'air, ce dernier aurait dû être depuis longtemps rempli de phlogistique, et le feu devrait donc être impossible! «*La nature doit disposer d'une provision qui rende l'air à nouveau favorable à la respiration, car sinon la masse entière de l'atmosphère deviendrait au fil du temps incapable de soutenir la vie animale.*» déclarait Priestley. Il eu alors l'idée de voir comment se comportait le fameux phlogistique en présence de végétaux, car il savait que le biologiste C. Bonnet venait de découvrir qu'une feuille éclairée plongée dans l'eau libérait des bulles de gaz, et donc que les végétaux libéraient «quelque chose» dans l'air. Priestley allait alors réaliser une expérience capitale ...

En 1804, Nicolas-Théodore de Saussure entreprend de vérifier, au moyen d'expériences (1) et de mesures, les idées de ses prédécesseurs (2). Il établit ainsi le premier bilan montrant la fabrication de matière organique à partir de matière minérale par les végétaux avec utilisation de la lumière:

Eau + CO_2 + énergie → matière organique (glucose) + dioxygène

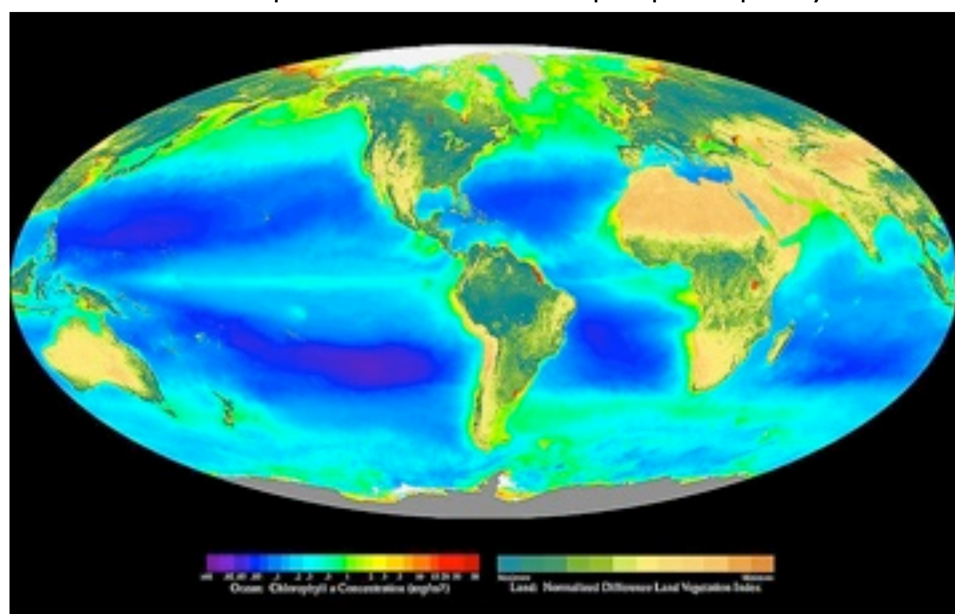
$6H_2O + 6CO_2$ + énergie de la lumière → $C_6H_{12}O_6 + 6O_2$

Les conséquences de ce travail sont immenses, car il montre comment la matière organique, c'est-à-dire les molécules complexes caractéristiques des êtres vivants, est élaborée à partir des éléments minéraux de l'atmosphère (le CO_2) et du sol (l'Eau). Bien entendu, les plantes ne sont pas «en sucre» (en glucose) mais c'est à partir de cette molécule, fabriquée grâce à la «porte d'entrée» dans la biosphère que constitue, pour les éléments minéraux, la photosynthèse (*voir schéma ci-contre*), qu'elles fabriquent toutes leurs autres molécules.

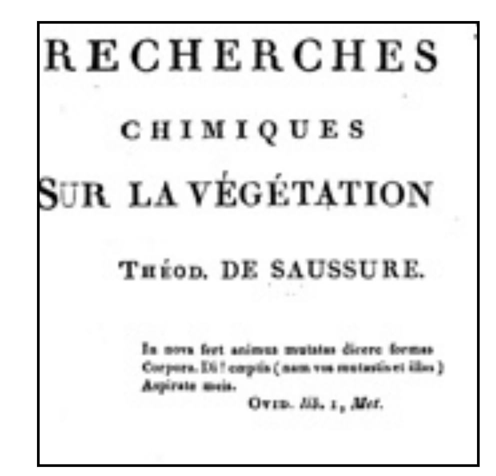


Mais déjà les meilleurs élèves s'exclament (3): «*et l'élément azote? Dans la matière organique, il y a C, H et O mais aussi N, S et P! D'où viennent-ils?*». Ces indispensables éléments proviennent, avec d'autres, du sol (4), où ils sont dissous dans l'eau (les fameux sels minéraux, revoyez donc votre cours de sixième!) absorbée par les racines.

Pour assembler les molécules organiques, une source d'énergie est nécessaire: ici, cet assemblage (autre mot pour «synthèse») est réalisé grâce à l'énergie apportée par la lumière («photos», en grec), il s'agit donc bien d'une «photo»synthèse. Si on raisonne à l'échelle de la planète, ce mécanisme alimente toute la biosphère (5) en matière organique et en énergie solaire ainsi «stockée», sous forme de molécules complexes, dans les êtres vivants pratiquant la photosynthèse.

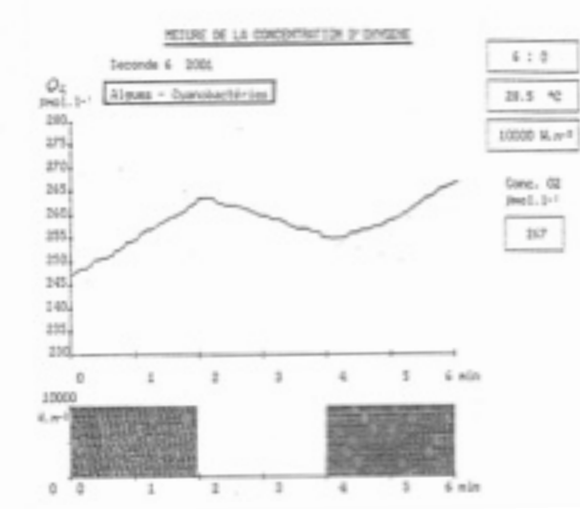


Répartition de la photosynthèse planétaire entre septembre 1997 et aout 1998. Remarquez l'importance des océans aux latitudes moyennes, ainsi qu'à l'équateur - Image SeaWiFS Project, NASA/Goddard Space Flight Center - ORBIMAGE.



RECHERCHES
CHIMIQUES
SUR LA VÉGÉTATION
THÉOD. DE SAUSSURE.

Page 1 du livre de Théodore de Saussure (1804) dans lequel il présente, pour la première fois le bilan de la photosynthèse établit à partir d'expériences. Document restauré/googlebooks



Un résultat de TP: une suspension de cyanobactéries est éclairée ou non, une sonde mesurant la concentration en O_2 du milieu. On constate que du dioxygène est libéré dans le milieu lorsque les bactéries sont éclairées (périodes noires sur le graphique), et qu'il est consommé lorsqu'elles sont dans l'ombre. La photosynthèse ne se produit donc qu'en présence de lumière. Doc. de l'auteur.



Fraction de la lumière solaire interceptée par les plantes entre le 24 mars et le 8 avril 2000 aux états unis (en %). Un millième environ de la quantité d'énergie solaire reçue par la Terre est capté par la photosynthèse, mais ce millième représente, sur une année, 10 fois la consommation énergétique de tous les humains... Photo NASA.

1- *Mesures des échanges d'O_2 et de CO_2 à la lumière et à l'obscurité, études de la composition de la terre, du rôle des racines, de la composition des cendres des végétaux. .. Voir exercice truc*

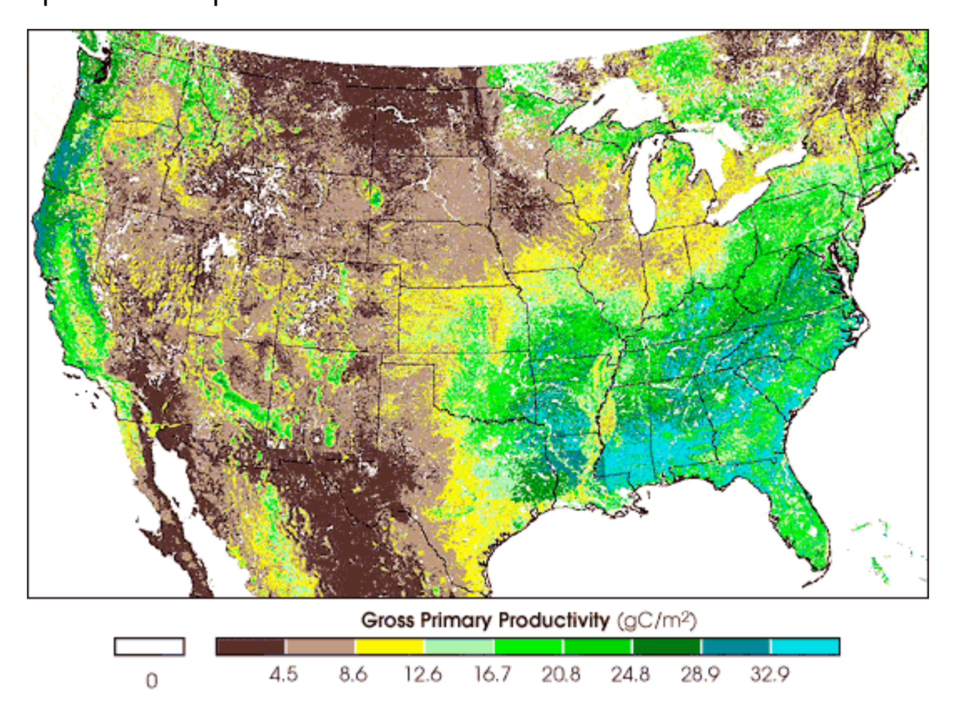
2 - *La première page de son livre est un avertissement qui précise «j'aborde les questions qui peuvent être décidées par l'expérience, et j'abandonne celles qui ne peuvent donner lieu qu'à des conjectures»*

3 - Et les plus attentifs, ainsi que ceux qui ont retenu ce que nous avons appris dans le chapitre concernant la composition élémentaire des êtres vivants...

4 - Le cas de l'azote est très particulier, certaines plantes pouvant, avec l'aide de bactéries, le puiser dans l'atmosphère; cet élément est cependant moins abondant chez les plantes que chez les animaux, et vous savez maintenant pourquoi: s'en procurer, pour les végétaux, est un défi.

5 - Toute ? Non. Au fond des abysses, certaines communautés d'êtres vivants tirant leur énergie directement des éléments minéraux résistent encore!

En sixième (je sais, c'est très loin), vous avez appris que les êtres vivants se répartissent en producteurs primaires (capables de fabriquer de la matière organique à partir de matière minérale) et en producteurs secondaires (qui produisent leur matière organique à partir d'autre matière organique). Les organismes réalisant la photosynthèse sont des producteurs primaires, ce sont même les seuls, quasiment, de toute la biosphère: l'ensemble du monde vivant (1) repose sur leurs épaules...



Production primaire de matière organique aux USA entre le 26 mars et le 10 avril 2000 par la photosynthèse, en g de carbone fixé dans la matière organique/m^2. La répartition inégale de cette productivité, entre les côtes fertiles et le centre du pays, plus désertique, est évidente - Les équipements d'analyse de la lumière permettent aux satellites d'obtenir rapidement des informations à grande échelle sur le monde vivant, et d'étudier son évolution. Image NASA - Earth Observatory).

Ces producteurs convertissent une masse importante de carbone d'origine minérale en carbone incorporé dans les molécules des êtres vivants: ils fabriquent ainsi une certaine masse de molécules organiques, représentées par les êtres vivants ou les produits qui en proviennent, et que l'on appelle la biomasse (2). Cette fabrication, réalisée par des producteurs primaires, et appelée productivité primaire. Elle peut être mesurée à différentes échelles (de quelques m^2 à la planète entière). Sur toute la surface terrestre, les scientifiques ont pu estimer que la totalité des producteurs primaires fait entrer dans la biosphère environ 100 milliards de tonnes de carbone (prélevé dans l'atmosphère) chaque année.

Comme cette biomasse est fabriquée, directement (pour les producteurs primaires) ou indirectement (pour les producteurs secondaires) à partir d'énergie solaire (3), on peut considérer qu'elle constitue, en fait, une réserve d'énergie solaire stockée sous forme organique. Si, après leur mort, les êtres vivants ne se décomposent pas, cette énergie solaire va se retrouver stockée dans le sol sous des formes diverses, comme nous allons le voir (4) dans le chapitre suivant...

1 - *Ainsi, par exemple, que le montre le contenu de votre frigo...*

2 - Vous pouvez aussi avoir entendu ce mot à propos des sources d'énergie: dans ce contexte, la biomasse est la masse de matière d'origine biologique utilisable comme source d'énergie.

3 - La planète Terre reçoit une grande quantité d'énergie en provenance du soleil: en 40 minutes, elle intercepte une quantité d'énergie équivalente à celle consommée par les humains en une année. Le problème est que cette énergie est diluée, à chaque instant, sur la moitié de la surface de la planète, et que la récupérer n'est pas évident, mais n'anticipons pas...

4 - Au cinéma, c'est ce que l'on appelle un «teaser», non ?

La photosynthèse, un métabolisme largement répandu.

Les végétaux (terrestres ou aquatiques) ne sont pas les seuls à pouvoir utiliser la photosynthèse: ce mécanisme est également utilisé par de nombreux eucaryotes unicellulaires ainsi que par les cyanobactéries.

Les organismes marins microscopiques réalisant la photosynthèse constituent le phytoplancton, qui est à la base de toutes les chaines alimentaires marines et produit la moitié du dioxygène libéré par la photosynthèse au niveau planétaire.

VOYEZ-VOUS MÊME :

Pour capter l'énergie solaire, les producteurs primaires utilisent des molécules particulières, les pigments, dont vous connaissez au moins de nom le plus répandu, la chlorophylle, à laquelle les végétaux doivent leur couleur verte.

Présence de la chlorophylle:

Cette expérience a pour but de vous montrer à quoi ressemblerait une feuille d'arbre sans chlorophylle. Prenez une feuille d'arbre, et versez dessus un peu d'eau bouillante (les bouilloires électriques pour le thé sont très pratiques pour cela). Laisser au contact de l'eau bouillante moins d'une minute (cela abime les parois cellulaires, les rendant poreuses et permettant à la chlorophylle d'en sortir). Mettez la feuille dans un petit récipient et recouvrez là d'alcool (dans lequel la chlorophylle va se dissoudre - l'alcool isopropylique, pour les massages, donne de bons résultats, mais l'alcool à bruler, plus facile à trouver, permet aussi d'observer le phénomène). Placer le récipient dans de l'eau tiède pendant une heure environ: la feuille va perdre sa chlorophylle qui va diffuser dans le liquide.

La chlorophylle capte l'énergie solaire

Découpez en morceaux des feuilles bien vertes (épinards, blettes, basilic...) et les passer au mixer avec un verre d'alcool à brûler. Filtrez le jus obtenu: vous avez une solution impure de chlorophylle, de couleur verte. Éclairez alors puissamment (avec un spot halogène, par exemple, ou un vidéoprojecteur) votre solution et observez là par réflexion (ne regardez pas la lumière directement!): votre solution apparait rougeâtre.

La chlorophylle a capté l'énergie de la lumière et la «renvoi » sous forme d'une lumière rouge (c'est de la fluorescence). Dans les chloroplastes, cette énergie est captée à son tour par tout un complexe ensemble moléculaire, et vous ne voyez jamais cette lueur rouge (cette dernière expérience est extraite de l'excellent site du prof. D. Pol - biologie amusante) .



Le site N.E.O. de la NASA vous donne accès à de nombreuses cartes, parfois animées, provenant des relevés satellites. Vous y trouvez concentration en chlorophylle, végétation mondiale et bien d'autres éléments pour votre curiosité et vous exposés. L'anglais utilisé est aussi élémentaire qu'indispensable pour tout scientifique...

Les combustibles fossiles sont d'origine biologique

En sixième, vous avez étudié comment, grâce à l'action des décomposeurs (bactéries, champignons, insectes....), se forme une couche fertile du sol, l'humus. Les êtres vivants formant la biomasse, après leur mort, sont le plus souvent décomposés, retournant à l'état de matière minérale ou servant de nourriture à d'autres êtres vivants. Toutefois, ce processus ne concerne pas la totalité de la matière organique: il peut arriver que la décomposition totale de la matière organique soit empêchée par certaines conditions physiques et chimiques, et que cette matière soit à l'origine de roches particulières: les roches carbonées.



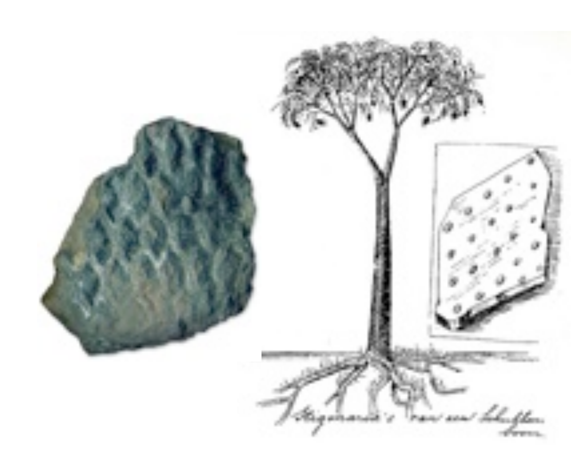
Ces roches sont connues depuis l'antiquité: Phéniciens et égyptien utilisaient le bitume pour l'étanchéité de leurs bateaux, les Chinois se servaient du charbon (1) depuis plus d'un millénaire (*ci-contre : mineurs chinois extrayant du charbon, illustration du livre «Tiangong kaiwu», 1637*) lorsque le voyageur Marco Polo, vers 1300, rapporta à Venise la description de cette roche (2), et le pétrole qui affleurait parfois à la surface du sol était utilisé comme produit pharmaceutique, pour le chauffage, l'éclairage et sans doute comme arme dès le moyen âge (3).



Un mélange de pétrole et de différentes huiles et minéraux permit à la marine de Byzance de disposer d'une arme puissante, le feu grégeois, qui brulait même sur l'eau et pouvait être projeté sur les navires ennemis (en bois...). Extrait d'une gravure du Codex Skylitzes Matritensis, 12ème siècle.



Les mineurs qui travaillaient à l'extraction du charbon y trouvaient parfois des fossiles extrêmement bien conservés, principalement des végétaux ressemblant à des troncs d'arbres, à des mousses et à des fougères. La présence de ces fossiles signalait bien que le charbon était une roche provenant d'un dépôt de matière organique: cette roche a donc pour origine une biomasse du passé. Cette origine biologique était confirmée par les nombreux fossiles trouvés dans les roches sédimentaires entourant les veines (4) de charbon, et la situation de ces dernières indiquait qu'elles s'étaient formées par sédimentations successives.



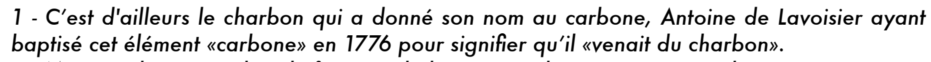
Le lépidodendron est un végétal fossile commun dans les couches de charbon. C'était une plante de la famille des fougères, mais possédant un «tronc» comme un arbre. Photo H Soria, Wikimedia, Reconstitution (de 1911) montrant l'aspect caractéristique du tronc et la forme générale du végétal.

Le pétrole, lui aussi, contient de nombreuses molécules organiques (5) que l'on ne rencontre que dans la paroi cellulaire de certaines bactéries: ces molécules sont la signature de l'origine biologique de cette roche (6). Comment des êtres vivants en sont-ils venus à se transformer en roches carbonées (et combustibles) ?

Cette transformation est un processus très lent, s'étalant sur des millions d'années (7). Lorsque des êtres vivants meurent, 99,9 % de leur matière est «recyclée», décomposée. Mais lorsque nous sommes dans des environnements où la productivité primaire est très élevée (avec de très nombreux végétaux et animaux), le 0,1% qui se dépose sans être immédiatement dégradé n'est pas négligeable, constituant des ensembles de masse considérable. De plus, ce pourcentage est une moyenne, et peut augmenter dans des circonstances particulières. Ainsi, il y a 320 millions d'années, les végétaux présents dans des environnements marécageux se déposaient dans la vase, formant des dépôts importants qui n'étaient plus en contact avec le dioxygène: l'action des décomposeurs «classiques», nécessitant la présence de ce gaz, devenait donc impossible.



Une veine de lignite (une des premières formes de Charbon à se mettre en place), de couleur noire, est nettement visible à la base de la falaise de cette mine, en Roumanie. Photo USGS.



1 - C'est d'ailleurs le charbon qui a donné son nom au carbone, Antoine de Lavoisier ayant baptisé cet élément «carbone» en 1776 pour signifier qu'il «venait du charbon».

2 - Marco Polo écrivit, dans le français de l'époque: «Il y a une manière de pierres noires qui se cavent des montaignes comme une vaine et qui art comme une busche» (il y a une sorte de pierres noires qui s'extraient des montagnes comme un minerai et qui brûle comme une buche).

3 - le feu grégeois permettait ainsi d'incendier des bateaux à distance, brûlant même sur l'eau.

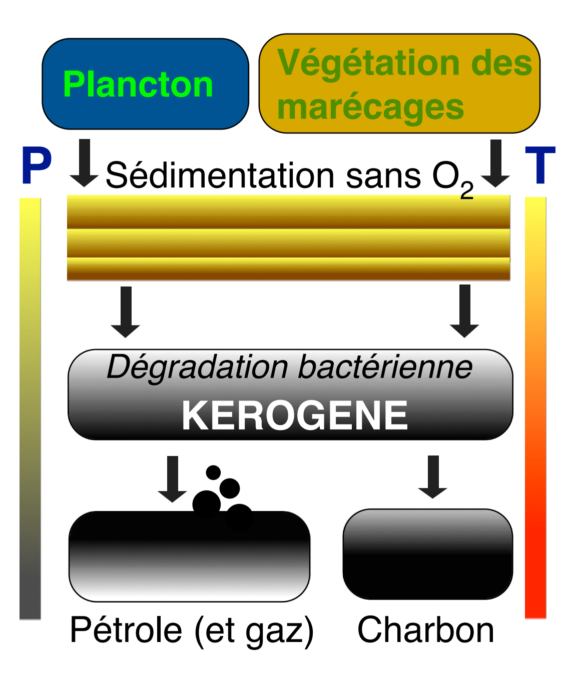
4 - Une veine est une couche compacte de charbon parmi celles constituant un gisement, exploité dans une mine.

5 Vous ne sauriez vivre davantage sans connaitre le nom de ces molécules, qui sont peut-être parmi les plus abondantes sur Terre: il s'agit des Hopanoïdes.

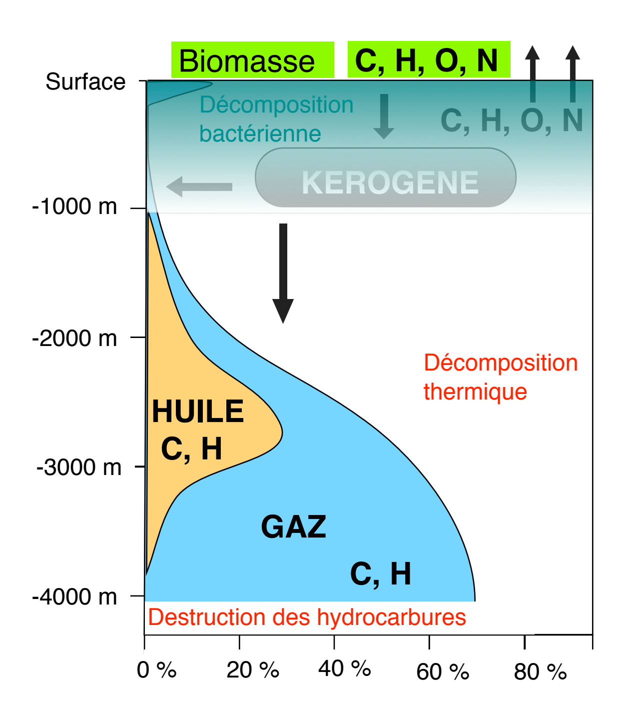
6 - Oui, c'est une roche. Liquide. Étonnant, non ?

7 - Même si dans des circonstances exceptionnelles (sources chaudes sous marines), un siècle puisse suffire.

les dépôts irréguliers et abondants de biomasse ont été recouverts périodiquement, de façon irrégulière, par des sédiments minéraux, comme des coulées de boue par exemple. Ainsi se formaient des «sandwichs » de déchets organiques (fougères, feuilles, mousses, bactéries, unicellulaires, quelques restes animaux....) séparés par des couches de sédiments minéraux.



Cette matière organique s'est retrouvée compactée par le poids des couches successives de sédiments et entrainée toujours plus profond, dans des conditions de température et pression croissante, et toujours en absence de dioxygène. Des bactéries ont commencé sa décomposition selon des modalités particulières: des quatre composants principaux de la matière organique (C,H,O et N), il ne va plus rester que H et C, O et N étant libérés et utilisés par les bactéries. L'action des bactéries anaérobie (dont le métabolisme ne nécessite pas de dioxygène) aboutit à la formation d'un matériau composé d'un mélange de molécules organiques plus ou moins complexes, que l'on appelle le kérogène (1). On a alors la formation de molécules ne contenant que de l'hydrogène et du carbone, autrement dit des hydrocarbures.



Selon les conditions, la vitesse et le type de matière organique enfouie, les molécules formées aboutiront à la formation d'un solide stable (le charbon), d'un liquide huileux capable ensuite de remonter vers la surface s'il n'est pas bloqué par certaines roches (le pétrole) ou d'un gaz (le gaz naturel) pouvant lui aussi être piégé dans des roches imperméables. Ainsi, le pétrole(2) se forme surtout à partir d'une biomasse d'origine marine, le plancton végétal (3) alors que le charbon a pour origine des végétaux terrestres comme des mousses ou des fougères. Sur une profondeur d'un kilomètre, ce sont les bactéries qui dégradent la matière organique, utilisant les éléments O et N, et fabriquant le kérogène, résidus de leur action. Si l'enfouissement se poursuit, c'est l'augmentation de température qui va conduire à la formation de proportions différentes (%) de gaz ou de pétrole (*huile, voir schéma ci-dessus*). Toutefois, si l'enfouissement dépasse environ 4 km, la température est telle que les hydrocarbures sont détruits.

1 - du grec «keros, cire, et gène, fabriquer: le kérogène est un matériau «qui fabrique des cires», les cires étant des molécules organiques .

2 - D'après le latin petra oleum, «huile de roche», qui décrit bien que le pétrole liquide imbibe certaines roches qui en constituent le «réservoir».

3 - Aussi appelé phytoplancton, et qui peuple, de façon inégale, la surface des océans.



Montceau-les-Mines est une ville de 20000 habitants qui doit son nom à ses mines de charbon, exploitées entre 1813 et 2000. Il y a 300 millions d'années, l'emplacement de cette ville était situé dans la zone équatoriale. Dans et entre les veines de charbon, on identifie parmi les fossiles plus de 200 espèces de végétaux et 50 espèces animales. Ces fossiles témoignent d'un environnement caractéristique d'une forêt équatoriale; de lacs, de marais et de fleuves transportant occasionnellement des sédiments en grande quantité qui ensevelirent végétaux et animaux et ont permis leur conservation, puis leur transformation. *Carte E. Gaba, Wikimedia*.



Le 15 février 2006, le satellite AQUA a détecté la prolifération du phytoplancton (visualisé ici en bleu), végétaux microscopiques peuplant les premiers mètres de l'océan, alimenté en sels minéraux par les sédiments provenant de la côte . Le pétrole se forme à partir de la dégradation de cette matière organique, susceptible de constituer d'énormes dépôts. Image Jeff Schmaltz, MODIS Land Rapid Response Team /NASA GSFC



Échantillons de pétrole brut et de deux types de charbons. La couleur noire de ces matériaux est due à leur richesse en carbone (qui constitue aussi, par exemple, vos mines de crayon à papier). Alors que le charbon est directement utilisable et peut être brulé sans traitements complexes, le pétrole brut doit être «raffiné» pour en extraire une foule de composés.

La conservation et la transformation de la matière organique nécessitent des circonstances géologiques particulières.



Si l'on examine une carte montrant la répartition mondiale des gisements de charbon (*Ci contre: principaux points d'extraction du Charbon en 2005. Données du British Geological Survey*) ou de pétrole exploité actuellement, on constate que leur répartition est extrêmement inégale: ces ressources ne semblent s'être formé en grande quantité que dans certaines régions (1).

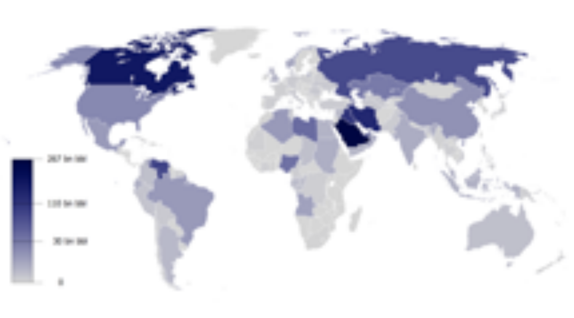
Les zones riches en hydrocarbure se singularisent par une histoire géologique particulière: dans le passé, elles ont été à la fois le lieu d'une intense production de biomasse et celui où les conditions d'un enfouissement répétitif de cette biomasse à l'abri du dioxygène ont été remplies. Ces deux conditions se trouvaient validées dans les environnements réunissant un climat tropical, chaud et humide, permettant une croissance rapide de nombreux végétaux, et la présence d'étendues d'eau permettant des inondations et des dépôts de sédiments irréguliers. Les fossiles identifiés et les conditions nécessaires permettent d'identifier ces milieux à ceux correspondant aux marécages tropicaux actuels.

A une grande échelle, les conditions nécessaires à la sédimentation «conservative» de la matière organique ont été réunies non seulement à des endroits particuliers, mais aussi à une époque particulière: entre -360 et -300 millions d'années, à une époque justement baptisée Carbonifère. A cette période de l'histoire de la Terre se conjuguent:

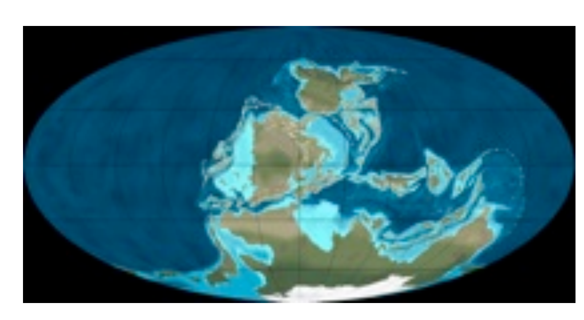
- un climat tropical propice à la croissance des végétaux de l'époque et touchant de nombreuses terres (Afrique du Sud, Australie, Europe du Nord, Sibérie). A l'équateur de l'époque se déposent aussi de grandes quantités de matière organique dans ce qui est aujourd'hui le sud de la Chine la mer Caspienne et les montagnes Rocheuses des USA.
- la formation de marécages périodiquement inondés à cause d'une grande quantité de milieux situés en bord de mer ou lac et de variations du niveau des mers
- le développement de végétaux de grande taille fabriquant une molécule nouvelle, la lignine (2), qu'aucune bactérie ou champignon de l'époque ne peut décomposer: cette matière organique s'accumule et se conserve donc facilement en quantités gigantesques (3), constituant d'immenses dépôts .
- L'enfoncement progressif des dépôts sous le poids des dépôts suivants, entrainant l'ensemble à des profondeurs de l'ordre de quelques km. Ce phénomène, la subsidence, a permis d'exposer les différents dépôts à des conditions de température et pression croissantes.

Plus tard dans l'histoire de la terre, d'autres dépôts organiques pourront se produire, mais ils nécessiteront des circonstances géologiques exceptionnelles (comme des recouvrements plus ou moins réguliers de ces dépôts par des sédiments pauvres en dioxygène).

1 - Vous étudierez cela plus en détail les prochaines années.
2 - En théorie, je n'étais pas autorisé à vous communiquer cette information qui n'est pas à votre programme, mais est à mon sens indispensable pour comprendre l'origine du charbon. Disons que personne ne vous interrogera là-dessus, mais que vous pourrez ainsi manifester votre désir d'en savoir plus, ce qui est toujours profitable...
3 - Ces dépôts sont si abondants qu'il existe, par exemple, des charbons tirant leur origine de dépôts de milliers de tonnes de grains de pollen, et d'autres formés principalement à partir d'algues...



Répartition des réserves de pétrole dont l'existence est prouvée en 2008. Le pétrole est une ressource inégalement répartie. Outre cette répartition, son accès est aussi plus ou moins complexe selon sa localisation (voir page 72-73). Carte Wikimedia.



Reconstitution de l'aspect de la Terre il y a 340 millions d'années, à l'époque de la majorité des dépôts de matière organique conduisant aux roches carbonées. Les zones tropicales et l'abondance des littoraux correspondent aux localisations actuelles des gisements de charbon, de pétrole et de gaz originaires de cette époque.
Reconstitution: prof. Ron Blakey, Colorado Plateau Geosystems, Inc



Les forêts de fougères arborescentes de l'île des Pins, en Nouvelle-Calédonie, donnent une idée de l'aspect (seulement, les espèces animales et végétales étant différentes) des environnements propices à la formation de dépôts de matière organique qui peuplaient les régions tropicales terrestres à l'époque du carbonifère.

L'exploitation des gisements.

Recherecher, découvrir et exploiter les gisements par des méthodes adaptées nécessite de connaître leur mode de formation et leur environnement géologique.

Nous avons vu que le pétrole dérivait de la transformation bactérienne anaérobie d'une biomasse de plancton. Cette origine conditionne les roches dans lesquelles il est possible de trouver du pétrole.

En effet, on doit avoir eu une grande quantité de plancton recouverte par des sédiments. Ces conditions ne se réalisent qu'au niveau de bassins sédimentaires, à l'emplacement des côtes des continents (1) ou des rives de grands lacs. De plus, il est nécessaire que les dépôts formés aient été entrainés entre 2 et 3 km de profondeur: les dépôts sédimentaires doivent s'être enfoncés sous le poids des dépôts postérieurs (on dit qu'ils ont subi une subsidence), ce qui les a soumis à de fortes températures et pression.

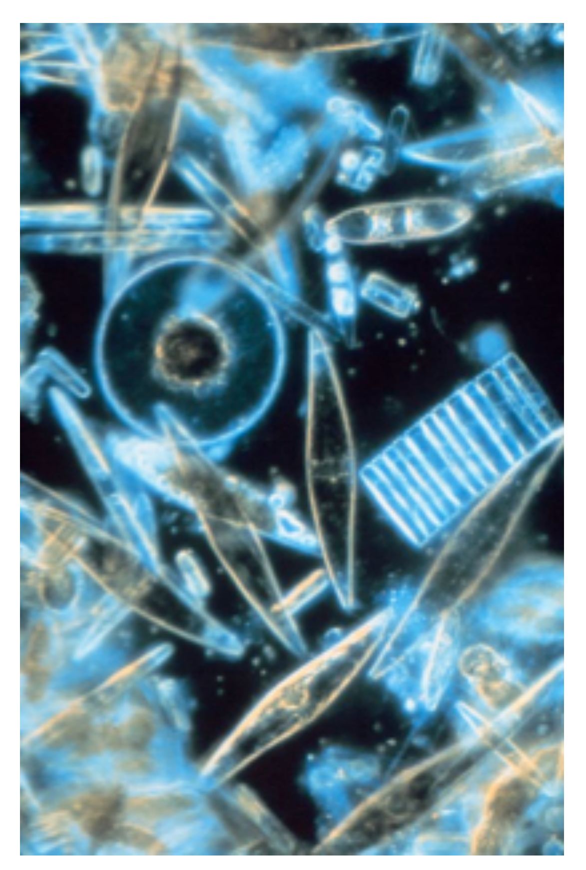
Une autre condition pour que le pétrole puisse être exploité est qu'il se soit «concentré» en profondeur: comme le pétrole est fluide, il a tendance à remonter vers la surface. S'il ne rencontre pas en chemin une roche imperméable qui, par sa forme, permette de le bloquer dans sa remontée, il parvient à la surface ou il subit plusieurs altérations qui le rendent difficile à exploiter (*ainsi, au Canada, la région d'Athabaska contient de nombreux «sables bitumineux», reste de gisements de pétroles ayant été altérés à la surface du sol, et dont l'exploitation, quoique possible, reste complexe et onéreuse* - 2).

Le pétrole est donc recherché au niveau des zones de dépôts sédimentaires caractérisant les rivages d'anciens continents, dépôts ayant du être entrainés à 3 km de profondeur et comprenant des couches de roches imperméables servant de «magasins» à pétrole. Ces conditions ne sont pas très répandues, ce qui rend les gisements de pétrole rares et explique leur distribution hétérogène.

La recherche de nouveaux gisements utilise plusieurs techniques et se déroule en plusieurs étapes:

- La géologie pétrolière: le pétrole se formant au niveau de sédiments, il s'agit d'identifier les régions sédimentaires (3) où du pétrole a pu se former et rester piégé en profondeur. Les géologues utilisent des photos satellitaires et «lisent» les paysages pour y détecter les traces éventuelles des structures profondes. Des échantillons de roche sont ensuite prélevés pour étudier et dater les sédiments qui doivent correspondre au type (pour le pétrole, des dépôts côtiers) et à l'âge nécessaire pour que la formation de pétrole ait été possible.
- L'imagerie sismique: en créant des ondes sismiques en surface (grâce à des vibrations, ou des explosions), les géologues peuvent étudier la façon dont elles sont réfléchies par les différentes roches du sous-sol, ce qui permet de reconstituer une image du sous-sol. Les géologues recherchent les structures «piège à pétrole» constituées de roches imperméables ayant une disposition telle qu'un grand volume de pétrole a pu rester bloqué sous elles.
- Le forage d'exploration: la roche est percée à l'aide d'un axe rotatif terminé par une tête de forage constituée d'un trépan. Le tout est soutenu par un derrick en milieu terrestre et par une plate-forme de forage en milieu marin. C'est seulement à la suite de cette étape, pouvant couter aisément plusieurs millions d'euros, que la présence de pétrole pourra être confirmée (4).

1 - à l'époque de la sédimentation, la tectonique des plaques ayant fortement modifié le visage de la Terre depuis.
2 - Onéreux est un mot signifiant «très cher», voire même «hors de prix»...
3 - Ces régions sont des bassins sédimentaires. En France métropolitaine, il existe deux bassins de ce type: le bassin parisien et le bassin aquitain. Dans les deux cas, de petites quantités de pétrole ou de gaz y ont été découvertes et exploitées dans le passé, mais ne le sont plus actuellement (à cause de l'épuisement du gisement ou d'un coût trop élevé).
4 - Une très bonne équipe de géologues pétroliers trouve un gisement deux fois sur cinq...



Ces diatomées, observées au microscope, font partie du phytoplancton. Le phytoplancton ne représente actuellement que 1% de la biomasse planétaire, mais il effectue 45 % de la production primaire (c'est-à-dire qu'il inclue dans la matière organique 45% du carbone qui y est incorporé grâce à la photosynthèse). C'est à partir des dépôts constitués par ces organismes morts que s'élabore, dans les conditions favorables, le kérogène conduisant à la formation de pétrole. Image NOAA.



Un des premiers champs de pétrole exploités en Pennsylvanie, vers 1862. Deux puits sont visibles. A l'origine, ces tours de forage, les derricks, étaient utilisés pour rechercher le sel. A cette époque, le pétrole extrait était transporté dans des tonneaux, ce qui explique que l'unité de mesure de la quantité de pétrole soit, encore aujourd'hui, le baril (équivalent à 159 L).

Une exploitation aux lourdes conséquences économiques et environnementales

L'exploitation du charbon pour l'alimentation des différentes machines à vapeur est un des éléments essentiels à l'origine de la révolution industrielle qui a eu lieu au 19éme siècle et a conduit au monde moderne. L'exploitation des énergies fossiles a permis une augmentation spectaculaire de la production de richesses (1), et a grandement affecté leur distribution mondiale: des pays autrefois extrêmement pauvres économiquement (Arabie Saoudite, par exemple) sont devenus des acteurs majeurs de l'économie mondiale, capables d'être à l'origine de crises économiques et politiques en influençant les cours du pétrole, dont l'économie mondiale dépend encore grandement.

La découverte et la mise au point du processus de raffinage du pétrole par Ignacy Lukasiewicz, vers 1850, a permis d'obtenir à partir de ce matériau de nombreux produits aujourd'hui indispensables: non seulement les carburants auquel vous allez penser immédiatement, mais aussi des plastiques, des engrais, du bitume... (Voir encadré). Grâce à la pétrochimie, le pétrole constitue une ressource naturelle de première importance, même sans prendre en compte son utilisation comme carburant!

Au niveau environnemental, l'exploitation du charbon et du couple pétrole/gaz a également des conséquences. Les mines de charbon à ciel ouvert, par exemple, sont de gigantesques «trous» qui peuvent, après exploitation, être aménagés avec plus ou moins de difficultés. Mais alors que le charbon est majoritairement consommé dans les pays qui le produisent (seuls 15% de la production mondiale étant exportés), ce n'est pas le cas du pétrole qui doit être transporté sur de grandes distances, rendant ainsi possible la survenue d'accidents majeurs tels que des naufrages de navires pétroliers à l'origine de marées noires, des fuites au niveau des oléoducs (gigantesques réseaux de tuyaux qui acheminent pétrole ou gaz (gazoduc) à travers un continent entier).

La combustion à grande échelle du charbon, dès le 19éme siècle, a mis en lumière le développement d'une pollution atmosphérique liée au dégagement de gaz provenant de la combustion et contenant du soufre, et provoquant la formation d'un brouillard nommé smog (2). La fin du chauffage individuel au charbon et la construction de centrales électriques respectant des normes de qualité de plus en plus élevées ont fait disparaitre ce polluant de nombreuses villes européennes, mais il persiste au niveau de pays utilisant en grande quantité le charbon et ne disposant pas encore de règlementations suffisantes pour en limiter les effets polluants.

Au niveau des transports, des réglementations de plus en plus contraignantes ont abouti à la réduction de nombreuses pollutions liées à la combustion des carburants: suppression du plomb dans l'essence, obligation d'utiliser des pots catalytiques dépolluant les gaz d'échappement, diminution de la quantité de soufre dans le gazole, filtration des particules de suie liées à la combustion de ce même carburant, normes portant sur la quantité de gaz azotés rejetés par les automobiles... contribuent à diminuer la pollution liée aux transports (3)

Il est toutefois chimiquement impossible d'éviter que la combustion du charbon,du pétrole et du gaz n'aboutisse à la libération de deux molécules: l'eau et le dioxyde de carbone.

1 - C'est ainsi qu'en 1863, J.D. Rockfeller, négociant en produits alimentaires, investit dans les puits de pétrole et dans les premières raffineries des USA. Il devient rapidement l'homme le plus riche du monde à son époque, et il est même considéré comme l'homme le plus riche ayant jamais vécu, sa fortune, exprimée en monnaie actuelle, dépassant 200 milliards de dollars. Il fit des dons d'un montant de 600 millions dont ont bénéficié des universités, et créa le Rockfeller institutes of biochemistry que nous avons déjà rencontré dans le premier chapitre de ce manuel, et auquel le ribose doit son nom.

2 - Smog = smoke + fog (fumée + brouillard, comme vous l'aviez traduit).

3 - D'autres solutions sont à l'étude, comme le développement de batteries performantes permettant de créer des automobiles électriques, où la création de biocarburants. *Voir page 78.*

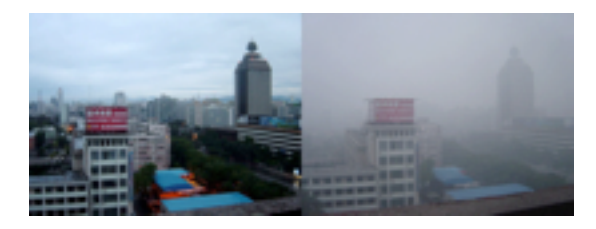


L'exploitation du Charbon au 19éme siècle a généré de grandes fortunes ainsi que des inégalités sociales criantes, les conditions de vie des mineurs étant extrêmement dures à l'époque, comme des écrivains populaires de l'époque (ici, Émile Zola, son roman germinal étant publié en épisodes dans le journal Gil Blas) l'ont parfaitement décrit, voire dénoncé.

LES RESSOURCES DE LA PETROCHIMIE

Le pétrole est une ressource permettant de fabriquer de nombreux matériaux omniprésents dans notre environnement. Voici quelques exemples de matériaux issus du pétrole:

matières plastiques,	solvants,
résines (bouteilles)	détergents
fibres synthétiques	plastifiants,
élastomères	adhésifs,
Médicaments	polyester
Cosmétiques	Nylon



Le smog à Beijing (Pékin, Chine). Ces deux vues, identiques, ont été prises deux jours différents: celle de droite par une journée ensoleillée et dégagée, celle de gauche après deux jours de pluie.
La Chine produit principalement son électricité à partir de centrales à charbon qui chargent l'air de particules et de gaz soufrés toxiques à l'origine d'un brouillard, le smog, ici évident. La pluie «lave» l'atmosphère pour quelques jours en dissolvant ces gaz et en rabattant les poussières microscopiques sur le sol.
Photos prises par Bobak Ha'Eri/Wikipedia.

Résumé *des épisodes précédents*

La lumière solaire permet la fabrication de matière organique à partir d'eau, de sels minéraux et de CO_2 dans les parties chlorophylliennes des végétaux, où se déroule la photosynthèse. Ce processus permet, à l'échelle planétaire, l'entrée de matière minérale et d'énergie dans la biosphère.
La présence de reste organique dans les combustibles fossiles montre qu'ils proviennent d'une biomasse.
Dans des environnements très productifs, une faible proportion de la matière organique, à l'abri de l'O_2, n'est pas totalement décomposée puis se transforme lentement en combustible fossile au cours de son enfouissement. Cette transformation, ainsi que la conservation des combustibles formés, nécessitent des circonstances géologiques bien particulières, ce qui permet de rechercher des gisements et de les exploiter. Ce qui a d'importantes conséquences économiques et environnementales.

Les combustibles fossiles permettent le retour du CO_2 anciennement piégé dans l'atmosphère

Les combustibles fossiles sont composés d'un mélange de molécules comprenant majoritairement les éléments C et H (les hydrocarbures - 1). Lorsqu'ils brulent, c'est-à-dire lorsqu'ils réagissent chimiquement avec le dioxygène, on a libération de dioxyde de carbone et d'eau, selon la transformation (non équilibrée):

$$(CH)_n + O_2 \rightarrow H_2O + CO_2 \text{ (+ énergie)}$$

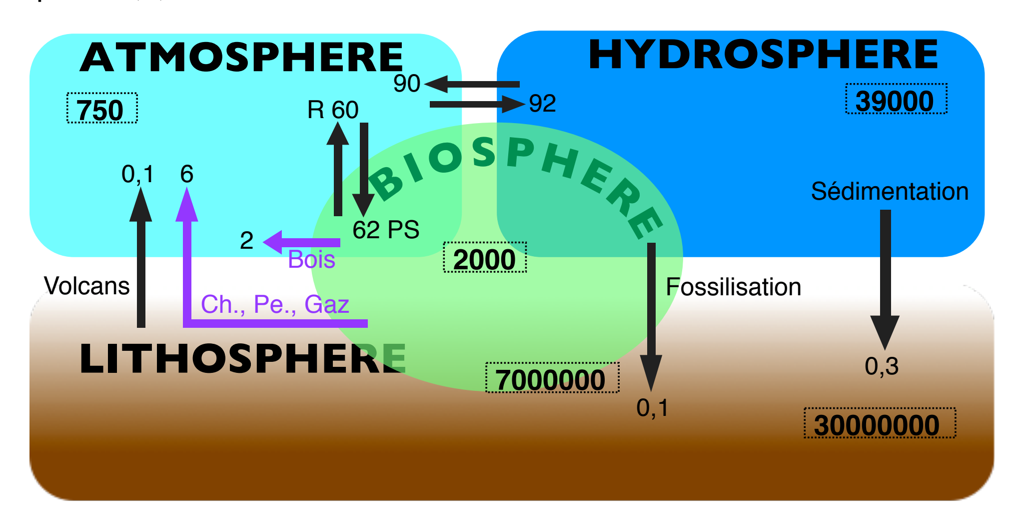
Cette réaction revient à libérer dans l'atmosphère le CO_2 que la photosynthèse avait enlevé il y a plusieurs millions d'années. En effet, c'est bien la photosynthèse qui incorpore le carbone minéral à l'intérieur de la biomasse (2), selon la transformation :

$$6H_2O + 6CO_2 \text{ (+ énergie solaire)} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

qui représente bien l'incorporation du CO_2 dans une molécule plus grande, donc «l'inverse» d'une combustion qui relâche du CO_2 à partir de cette même molécule. Ce CO_2 avait disparu dans les profondeurs de la Terre, le voilà revenu chaque fois que nous prenons le volant.

La matière organique à l'origine des roches carbonées, et donc des ressources constituées par le charbon, le pétrole et le gaz, a été fabriquée grâce à la photosynthèse réalisée par les êtres vivants il y a plusieurs millions d'années. Comme cette photosynthèse utilise l'énergie du soleil, on peut considérer que ces ressources constituent en fait de l'énergie solaire «fossilisée»: lorsque l'on brule un combustible fossile, on utilise en fait une forme d'énergie solaire stockée dans un passé lointain.

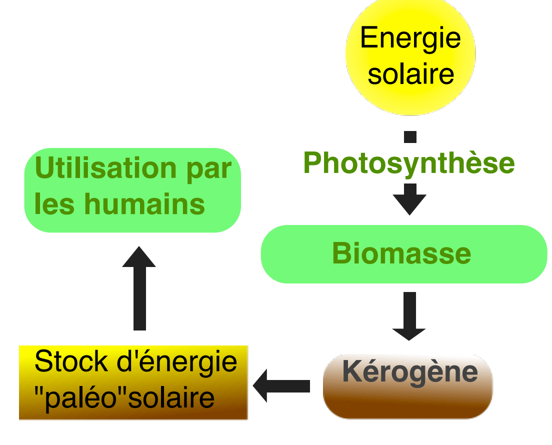
L'utilisation de cette énergie solaire s'accompagne inévitablement de la libération d'eau et de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Depuis le début de la révolution industrielle, les activités humaines utilisant l'énergie «paléosolaire» enfermée dans les combustibles fossiles ont ainsi libéré rapidement dans l'atmosphère de grandes quantités (3) de CO_2 et d'eau.



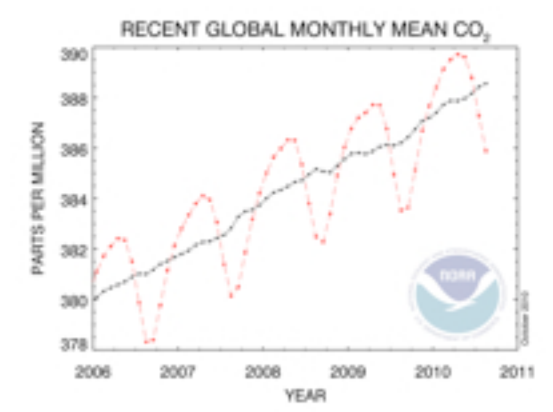
Ci-dessus : circulation du carbone entre les quatre grands «réservoirs» terrestres. Les chiffres sont exprimés en Gt (milliards de tonnes). L'influence humaine (sans la respiration) est représentée par les flèches violettes résultant d'actions de combustion et de déforestation. Il faut garder à l'esprit que ces chiffres sont des estimations, car ils sont excessivement difficiles à déterminer de façon précise à l'échelle planétaire (R: respiration, PS: photosynthèse, Ch: charbon, Pe: pétrole).

Alors que la vapeur d'eau se condense, repassant à l'état liquide, et ne s'accumule donc pas dans l'atmosphère, il n'en est pas de même pour le dioxyde de carbone. Les activités humaines interfèrent ainsi avec la circulation du carbone entre l'atmosphère et les roches, dans un sens favorisant la libération de ce gaz (*voir schéma ci-dessus*). Il est possible (4) que la quantité de CO_2 libérée par les humains dans l'atmosphère ait une influence sur le climat, comme vous l'étudierez ultérieurement.

En tout état de cause, les combustibles fossiles ne constituent pas une ressource énergétique renouvelable (5), et leur exploitation est mise en balance entre d'une part la nécessité d'une alimentation en énergie permettant une vie décente pour les populations humaines et la nécessité pour ces mêmes populations de conserver un environnement acceptable. Dans cette optique, la recherche et la valorisation de nouvelles formes d'énergies (voir page 76), ainsi qu'une meilleure efficacité dans l'utilisation des sources d'énergie existantes, sont indispensables.



Les combustibles fossiles constituent une forme d'énergie solaire captée grâce à la photosynthèse et mise «en conserve» lors de la dégradation partielle de la matière organique aboutissant à la formation de kérogène. L'utilisation de ces combustibles fossiles revient à l'utilisation d'une énergie solaire du passé.



Évolution de la quantité de dioxyde de carbone dans l'atmosphère ces cinq dernières années. Mesures réalisées sur les océans par le laboratoire NOAA/ESRL. Le graphe rouge montre les variations saisonnières du CO_2, le graphe noir est la teneur moyenne de l'atmosphère. Bien que l'accroissement de la teneur en CO_2 semble très important, il ne faut pas oublier que l'échelle utilisée porte sur des grandeurs extrêmement petites (des parties par millions ou ppm: 300 ppm = 0,03 %).

1 - Le pétrole contient aussi des molécules, les résines et les asphaltènes, comprenant du soufre, de l'azote et de l'oxygène.

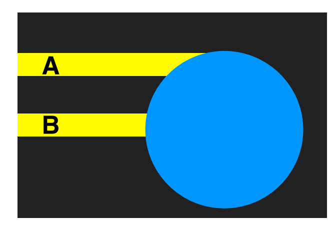
2 - en fait, tous les êtres vivants sont donc fait de CO_2 transformé...

3 - De grandes quantités en masse, mais un très faible % de l'atmosphère est représentée par le CO_2 : 0,03 % (vous avez tendance à surévaluer la quantité de dioxyde de carbone dans l'air...)

4 - Ce point est largement débattu, bien plus qu'il n'y paraît. Il se trouve au confluent d'intérêts politiques, industriels et même moraux. La démarche scientifique et la définition d'une réalité scientifique sont très difficiles dans ce contexte.

5 - Du moins pas renouvelable à un taux industriellement acceptable! Au mieux, une synthèse d'hydrocarbures par des micro-organismes acceptant les fortes températures et pressions nécessiterai un demi-siècle au minimum.

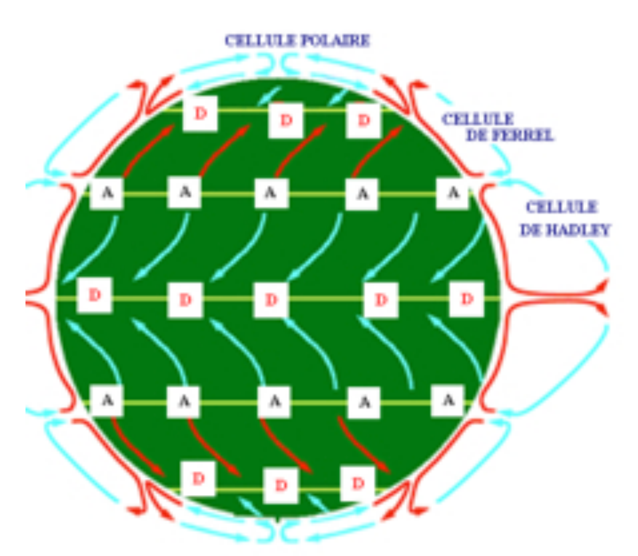
L'énergie solaire reçue par la Terre met l'atmosphère et l'hydrosphère en mouvement



La Terre étant, comme toutes les planètes, de forme sphérique, l'énergie solaire ne se répartit pas de façon égale à sa surface (voir schéma): les régions polaires (*chauffées et éclairées par le faisceau* A) voient une même quantité de rayonnement s'étaler sur une plus grande surface que les régions équatoriales (*faisceau* B), d'où les différences de température liées à la latitude.

L'énergie solaire parvenant au sommet de l'atmosphère représente environ 340 W/m². Le tiers de cette énergie est immédiatement renvoyé dans l'espace, car le rayonnement est réfléchi par l'atmosphère, les nuages et le sol. Parmi ce qui reste, moins de 1% est utilisé par la photosynthèse pour fabriquer de la biomasse.

Le reste de l'énergie, avant de retourner vers l'espace (1), chauffe la surface terrestre, que celle-ci soit constituée d'un sol ou d'eau. Toutefois, ce chauffage n'est pas homogène, puisque la répartition de l'énergie solaire ne l'est pas. Il y a donc une graduation de la température du sol et de l'eau (2) de l'équateur vers les pôles.

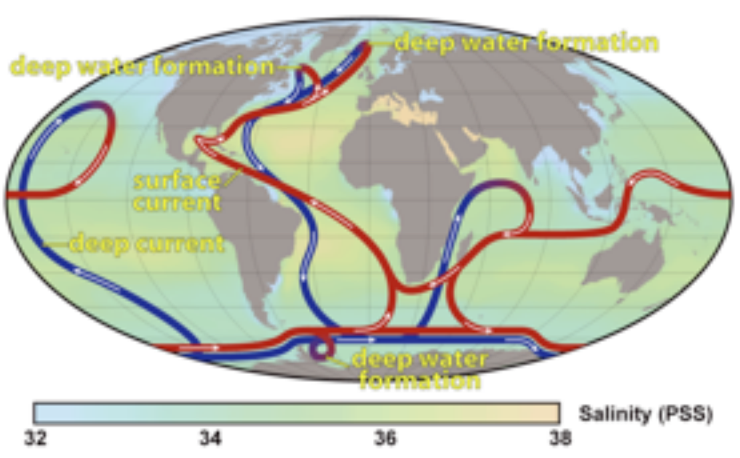


L'air chaud étant moins dense que l'air froid, il s'élève dans l'atmosphère, étant remplacé par de l'air provenant d'autres régions, puis se refroidit en altitude et revient vers le sol: il se crée ainsi un mouvement des masses d'air , causé par le rayonnement solaire non homogène et fortement influencé par la rotation de la Terre. Ces déplacements d'air sont à l'origine des vents.

Schéma ci-contre : l'air chauffé s'élève, formant trois groupes de «cellules» et créant des zones de faible pression (D=dépressions) ou de fortes pressions (A=anticyclone) entre lesquelles circulent des vents dont le parcours est dévié en arc de cercle par la rotation terrestre. Schéma Pierre CB/Wikimedia.

L'eau des océans, superficiellement poussée par les vents, réagit de la même façon, mais se met en mouvement plus lentement (3) à cause de sa densité supérieure et de son inertie thermique (c'est à dire le temps plus grand qu'il lui faut pour chauffer ou se refroidir). Ainsi se créent des courants marins.

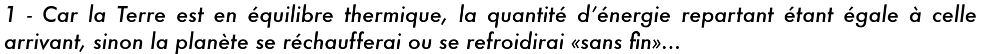
Ci-dessous : carte des courants parcourant les océans, causés par des différences de température et de salinité. Les courants chauds sont représentés en rouge, et sont plus superficiels («surface current») que les courants bleus, plus froids et profonds («deep current»). L'eau des océans est ainsi convoyée comme sur un tapis roulant et la chaleur qu'elle contient et transporte influence fortement le climat de la Planète. Schéma R. Simmons, NASA.



De plus, l'énergie solaire, en permettant l'évaporation de l'eau des océans et des lacs, amorce et alimente le cycle de l'eau.

L'atmosphère et «l'hydrosphère» (4) sont ainsi mises en mouvement, à des vitesses différentes, par l'inégale répartition de l'énergie solaire à la surface de notre planète.



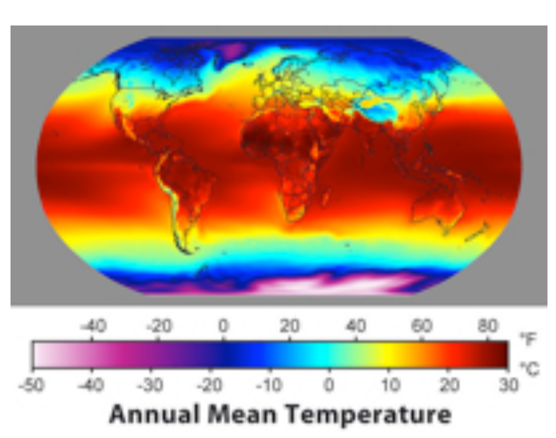


1 - Car la Terre est en équilibre thermique, la quantité d'énergie repartant étant égale à celle arrivant, sinon la planète se réchaufferai ou se refroidirai «sans fin»...

2 - qui chauffent, à leur tour, l'air.

3 - L'hydrosphère est la partie de la planète occupée par l'eau.

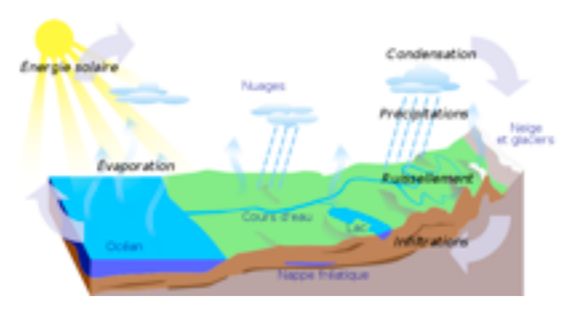
4 - Il faut 2000 ans pour «boucler» les courants illustrés sur le schéma.



Carte globale des températures terrestres moyennes entre 1961 et 1990. Les inégalités de répartition de l'énergie solaire à la surface de la planète sont à l'origine de l'organisation «en bandes parallèles» des différentes zones de température, lesquelles influencent ensuite fortement les différents climats.
Image R. A. Rohde / Global Warming Art.



Dépression centrée entre l'Islande et le Groenland le 4/09/2003. Les vents, attirés par la zone de basses pressions au centre, se courbent sous l'effet de la rotation terrestre, ce qui donne cet aspect en spirale. Photo NASA.



Le cycle de l'eau, que vous avez abondamment étudié au collège, est amorcé par le rayonnement solaire qui évapore l'eau, l'envoyant dans l'atmosphère où elle voyagera avant de retomber sous diverses formes et de revenir, à des vitesses différentes, vers l'océan.
Schéma Benutzer:Joooo, Wikimedia.

Les vents et les courants marins constituent d'énormes masses d'air et d'eau en mouvement et représentent une forme «transformée» de l'énergie solaire.

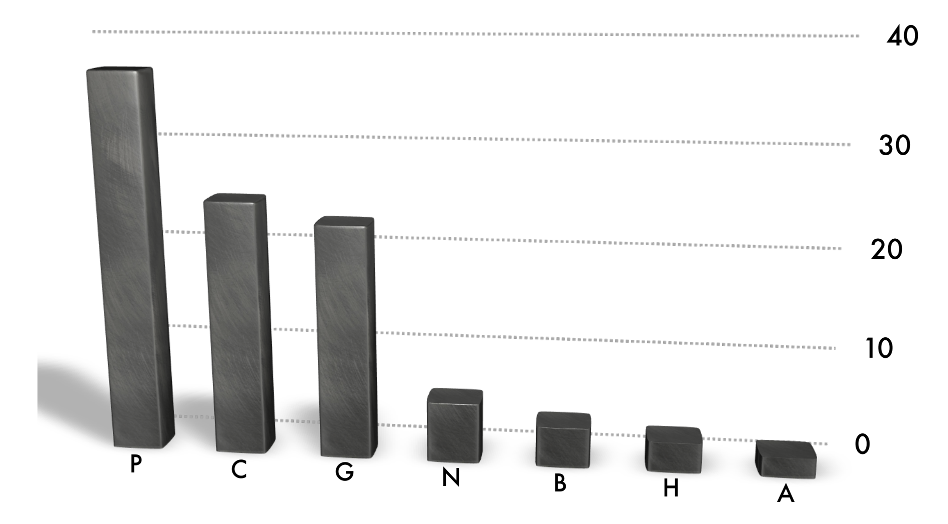
Il est possible de récupérer une partie de cette énergie pour la transformer en électricité, ce qui revient à utiliser, de façon indirecte, de l'énergie solaire:

- les éoliennes permettent d'utiliser l'énergie des vents
- les barrages hydro-électriques utilisent l'énergie mise en jeu dans le cycle de l'eau
- différents projets sont étudiés pour récupérer l'énergie des courants marins.

Ces différentes «sources» (1) d'énergie ont l'avantage d'être rapidement «renouvelables» (2) puisqu'elles sont alimentées en permanence par le rayonnement solaire.

Il existe toutefois des formes d'énergie indépendantes de l'énergie solaire: les usines marémotrices utilisent l'énergie de la gravité (en fait, elles utilisent de l'énergie d'origine principalement lunaire, notre satellite étant à l'origine des marées), et l'énergie nucléaire utilise, comme son nom l'indique, l'énergie qui se manifeste au niveau du noyau des atomes (à ne pas confondre avec le noyau des cellules!)

Actuellement, la majorité des sources d'énergie, au niveau mondial (3), est constituée par les énergies fossiles (*voir schéma ci-dessous*).



Sources d'énergie utilisées au niveau mondial (en %): Les énergies fossiles comme le pétrole (P), le charbon (CV) et le gaz naturel (C) constituent encore la majorité des ressources énergétiques. L'énergie nucléaire (N) est d'une importance très variable selon les pays, la biomasse (essentiellement le bois, B) et l'énergie hydro-électrique (H) sont d'un apport encore minime. Toutes les autres énergies renouvelables ne sont pas encore d'une importance significative au niveau mondial.

La quantité d'énergie solaire reçue par la planète est très supérieure à celle utilisée par les humains. Il est donc possible de tirer parti de l'énergie d'origine solaire, renouvelable, pour alimenter les humains en énergie. Toutefois, de nombreuses difficultés se posent, en particulier à cause de la dilution de l'énergie solaire sur de grandes surfaces.

Néanmoins, la proportion d'énergie provenant des ressources renouvelables est nécessairement appelée à croître à l'avenir, même si des progrès inattendus (comme toujours) permettaient d'entrevoir d'autres sources d'énergie (4). Des progrès sont également possibles en améliorant l'efficacité de l'usage de l'énergie, et en évitant les gaspillages liés à son utilisation (5).



1 - Le mot «source», bien que très utilisé, est impropre: il n'y a pas de «source» d'énergie, mais une simple transformation d'un type d'énergie en un autre, comme vous le verrez en physique.

2 - Ce qui n'empêche pas ces sources d'énergie d'avoir des défauts liés à leur intermittence ou à leur dilution sur de grandes surfaces ou de grands volumes.

3 - Le cas de la France étant très particulier, puisque 75% de l'énergie électrique est d'origine nucléaire, et le reste hydro-électrique.

4 - Comme, par exemple, l'énergie de la fusion nucléaire, permettant d'utiliser des matériaux très communs sur Terre, mais dont la mise au point est ardue; où certaines formes d'énergie nucléaire permettant de «transformer» des matériaux inertes en substances utilisables à leur tour dans des réacteurs nucléaires comme source d'énergie.

5 - Des mesures d'une complexité folle, comme éviter d'éclairer des pièces vides, et de bien isoler son habitation afin d'éviter de chauffer ou de refroidir inutilement le milieu extérieur.



«Ferme» d'éoliennes à Tehachapi Pass, Californie. Photo Wikimedia.



Des éoliennes peuvent aussi être installées «au large» pour profiter des vents marins. Ici une partie de la «ferme» de Great Yarmouth, Norfolk, Royaume-Uni. Photo miss hyper/Wikimedia.



Le barrage de Monteynard (Isère, France), construit en 1962, a créé une retenue d'eau de 650 hectares et alimente une centrale de production de courant hydro-électrique. Photo D. Monniaux/Wikimedia.

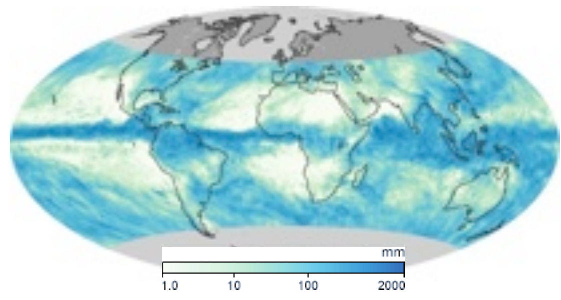


Une partie de la plus grande centrale solaire au monde, installée dans le désert de Mojave, en Californie. L'ensemble de la centrale couvre 6,5 km^2 et produit 350 MW d'énergie électrique. Les zones désertiques sont idéales pour capter l'énergie solaire, qui reste ensuite à transporter et surtout à utiliser immédiatement. Photo A. Radecki/ Wikimedia.

Le sol et l'eau: deux ressources précieuses à la répartition inégale

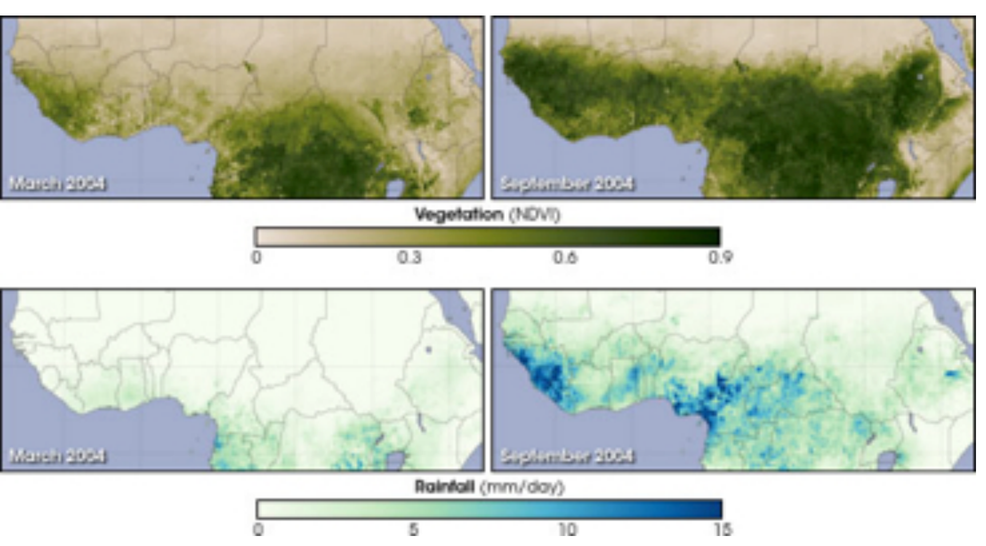
L'agriculture utilise la photosynthèse à des fins variées.

Depuis 10000 ans, les humains ont entrepris de cultiver des végétaux, favorisant leurs semences et leur croissance, afin de satisfaire, en premier lieu, leurs besoins alimentaires. En faisant cela, les humains ont utilisé (1) à leur profit la fabrication de biomasse réalisée par la photosynthèse (2).



L'agriculture nécessite deux ressources: un sol cultivable, où faire pousser les plantes, et de l'eau douce disponible en quantité suffisante pour permettre leur développement (la lumière et le CO_2 ne manquent que rarement). Ces deux ressources sont très inégalement réparties à la surface de la Terre (*ci-contre : pluies globales en mai 2010, leur répartition très inégale est évidente! Vue NASA/earth observatory*).

L'eau douce ne représente que 1% seulement de l'eau de la Terre (3). Bien que ce soit, à cause du cycle de l'eau, une ressource renouvelée, elle n'est pas disponible en quantité illimitée, ni à la demande.

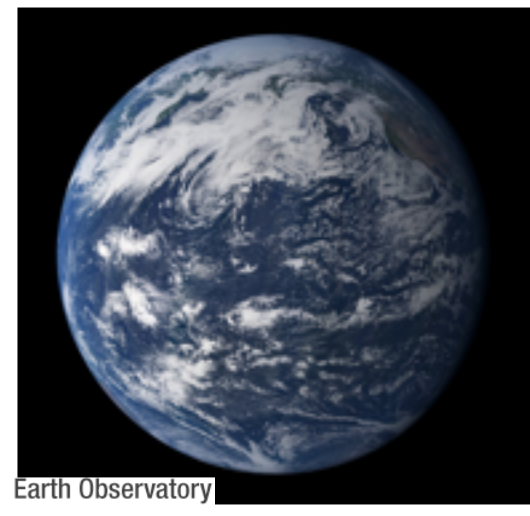


Dans les régions semi-arides qui s'étendent entre les forêts du Congo et le désert du Sahara, la croissance et le développement des végétaux sont directement liés à la disponibilité de l'eau sous forme de pluie (une animation entre 1998 et 2005 est disponible ici). Entre mars et septembre 2004, les mesures par satellite montrent bien comment le développement de la végétation (en vert, NDVI = proportion de lumière renvoyée par les végétaux) dépend des chutes de pluie (en bleu, en mm/jours). Document NASA-Earth observatory/USGS/USAID.

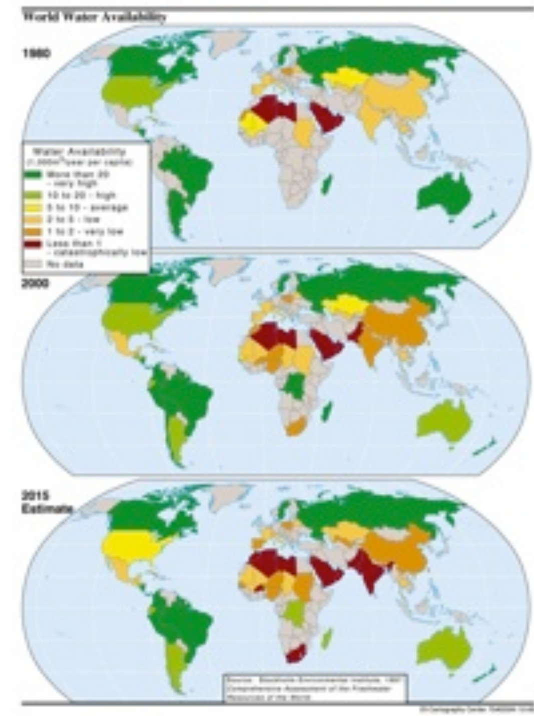
Un sol cultivable (suffisamment épais, contenant les sels minéraux nécessaires) est également une denrée rare: les roches nues, ou les sols gelés ne sont pas, par exemple, utilisables pour l'agriculture. Il en est de même pour les forêts: En Europe, principalement à partir du Xeme siècle, l'extension de l'agriculture s'est accompagnée d'une destruction des forêts remplacées par des champs afin de nourrir la population.

En monopolisant de larges surfaces pour des végétaux bien précis, les humains favorisent ces végétaux, guident leur évolution, et l'agriculture concurrence ainsi la biodiversité végétale «naturelle» (4) des milieux.

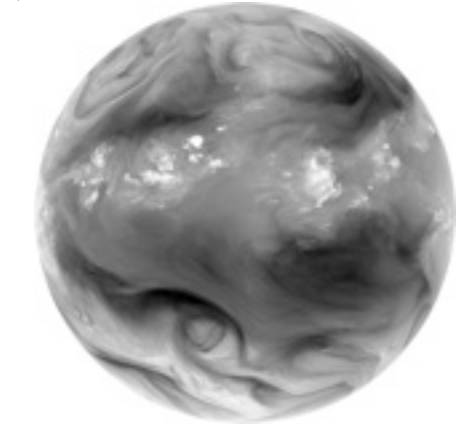
1 - sans le savoir pendant 100 siècles...
2 - ce qui a abouti à un accroissement de la biomasse... humaine, les populations des premiers agriculteurs pouvant élever plus d'enfants que les populations nomades de chasseurs-cueilleurs. Ainsi, la population de la France est passée d'environ 20000 personnes au paléolithique à 1 million au néolithique (revoyez donc vos cours d'histoire si ces mots ne signifient rien pour vous...
3 - En fait l'eau des océans représente 97% de l'eau de la Terre, et 2% restant sont immobilisés dans les glaces des pôles...
4 - Au point de la remplacer totalement: on peut se demander ce que signifie exactement le mot «naturel» sur des territoires comme la France où toute la végétation est d'origine humaine (oui, même les forêts....). On peut comprendre le mot «naturel» comme signifiant «sans intervention humaine», mais l'homme ne fait-il pas partie de la nature ? Vaste réflexion à approfondir... en terminale, lorsque vous étudierez la philosophie !



En observant l'océan Pacifique, notre planète semble entièrement recouverte d'eau... Mais cette impression est trompeuse, car l'eau douce y est relativement rare. Photo NASA.



Disponibilité de l'eau au niveau mondial (document CIA). Entre 1980 et 2000, l'eau douce s'est raréfiée. Cette tendance devrait se poursuivre à l'avenir.



Circulation de la vapeur d'eau dans l'atmosphère terrestre (région comprenant l'Afrique et l'atlantique). Les régions les plus claires sont les plus riches en vapeur. Photo NASA/meteosat 9. Un magnifique film montrant cette circulation de vapeur est visible ici.

La biomasse végétale produite grâce à l'agriculture sert principalement à l'alimentation des humains, que ce soit directement ou par le biais de leurs animaux d'élevage. Elle peut aussi avoir d'autres usages, comme, par exemple, la fabrication de textiles (culture du coton, du lin), de bois (meubles, construction) ou de papier. Depuis les débuts de l'agriculture, les humains ont également, à partir des végétaux, produit des alcools variés ainsi que des huiles diverses. Récemment, ces deux dernières productions ont été étudiées afin de constituer une source de combustible, de «carburant végétal»: les agrocarburants (1)



June 22, 1992



January 14, 2001

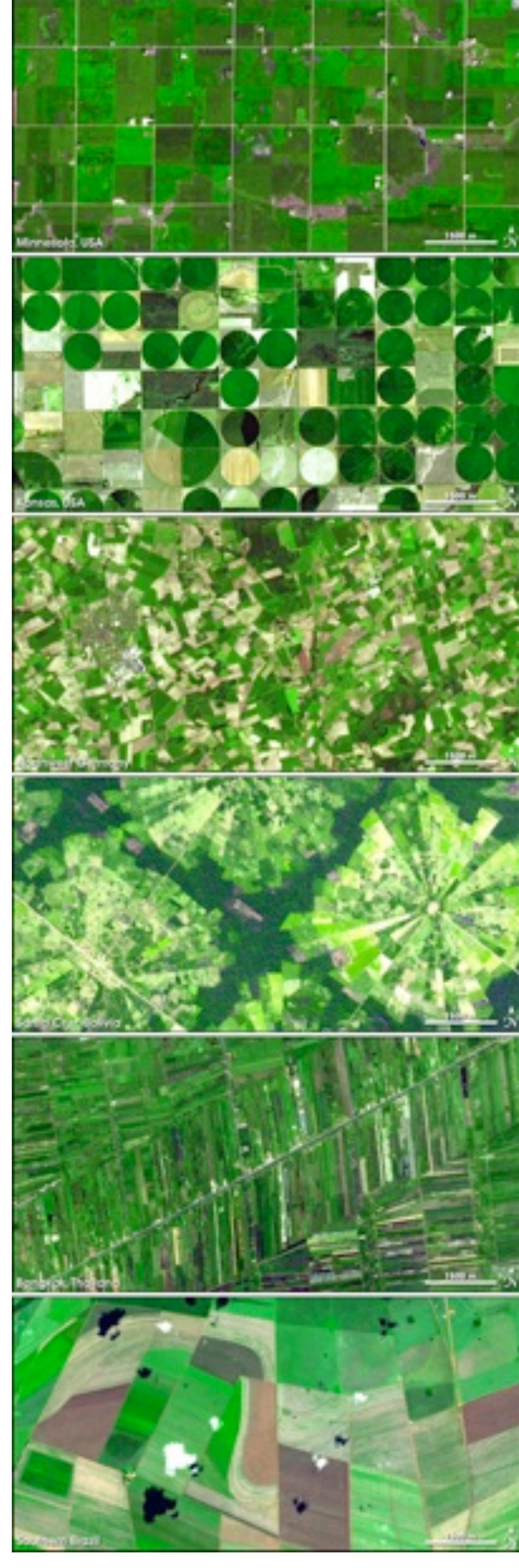
Ces agrocarburants ont tout d'abord été obtenus à partir de végétaux également utilisés dans l'alimentation humaine (blé, maïs , palmier à huile, tournesol, colza), faisant craindre une concurrence entre les productions alimentaires et celles dévolues à la fabrication de carburant, qui devraient se partager l'eau et les sols.

(Ci contre: déforestation à Sumatra, Indonésie. Entre 1992 et 2001, de larges régions de forêt tropicale (en vert profond) ont été défrichées (régions rouge et roses), souvent pour y installer des cultures de palmier à huile destiné soit à l'alimentation, soit à la fabrication de biocarburant. La plupart de ces défrichements sont illégaux, et privent de nombreuses espèces des territoires et du milieu qui leur est nécessaire. Parmi les animaux les plus célèbres menacés par ces pratiques, on compte les Orangs-outans ainsi que le Tigre de Sumatra. Images en fausses couleurs - Photos NASA/LANDSAT/ Tropical Rain Forest Information Center)

Pour éviter cet inconvénient, qui menace de rendre plus chères les denrées alimentaires, et de mener à une déforestation dans les zones tropicales pour l'installation de nouvelles cultures (2), des agrocarburants de seconde génération, utilisant des «déchets» (bois, paille) qui ne servent pas à l'alimentation humaine, sont étudiés et produits. Des recherches sont également menées sur des «algocarburants» produits à partir d'algues microscopiques (qui offrent l'avantage d'un meilleur rendement que les autres végétaux tout en n'utilisant ni eau douce (ce sont des algues marines au doux nom de *Dunaliella* ou *Nannochloropsis*) ni sol (puisqu'elles vivent en suspension dans l'eau de mer).

1 - Qui n'ont rien de nouveau, en fait: il est déjà arrivé, au Brésil, pendant la Seconde Guerre mondiale, que le charbon destiné aux locomotives soit remplacé par du... café! Aux débuts de l'industrie automobile, le pétrole était peu utilisé: Rudolph Diesel faisait fonctionner son moteur avec de l'huile d'arachide, et la Ford T, vers 1905, utilisait de l'alcool comme carburant...

2 - En particulier à cause de la culture du palmier à huile, qui entraine la destruction de forêts tropicales (il ne pousse que dans cet environnement) pour créer des plantations produisant une huile alimentaire de qualité médiocre, mais très peu chère (et que l'on retrouve, hélas, dans de nombreux produits alimentaires industriels, bien que certains commencent à s'en détourner).



L'utilisation agricole des sols peut être extrêmement variée. Ces 6 vues satellites (à la même échelle) permettent de comparer les champs:

- *rectangulaires du Minnesota, tracés au début du 19éme siècle et adaptés à l'utilisation de machines.*
- *du Kansas, irrigués par de grands dispositifs rotatifs qui leur donne un aspect caractéristique*
- *du nord-ouest de l'Allemagne, de petite taille, et dont la disposition date du moyen âge*
- *inclus dans la forêt tropicale et rayonnant autour des villages en Bolivie, vers Santa Cruz*
- *rectangulaires et très fins des rizières de Bangkok, découpés d'un fin réseau de canaux d'irrigation.*
- *géants et plats de la région de Cerrado, au sud du Brésil.*

Images NASA/GSFC/METI/ERSDAC/JAROS, U.S./ Japan ASTER Science Team

Résumé *de l'épisode.*

L'utilisation de combustible fossile restitue rapidement dans l'atmosphère du CO_2 prélevé et piégé lentement dans un lointain passé. Utiliser cette ressource revient à utiliser une énergie solaire provenant du passé. L'augmentation de la concentration du CO_2 dans l'atmosphère, causée en partie par les humains, interfère avec le cycle naturel du carbone.
L'énergie solaire est inégalement reçue à la surface de la planète. La photosynthèse en utilise moins de 1% , le reste chauffe le sol (qui chauffe l'air, provoquant les vents) et l'eau (ce qui est à l'origine des courants) qui s'évapore, amorçant le cycle de l'eau.

Utiliser l'énergie, rapidement renouvelable, des vents, des courants, des barrages hydroélectriques, revient à utiliser indirectement de l'énergie solaire. Pour satisfaire les besoins alimentaires de l'humanité, l'Homme utilise à son profit la photosynthèse grâce à l'agriculture, qui nécessite des sols cultivables et de l'eau, deux ressources inégalement réparties à la surface de la planète, fragiles et disponibles en quantités limitées. L'agriculture concurrence la biodiversité naturelle, et produit une biomasse végétale source de nombreux produits, dont de la nourriture mais aussi des agrocarburants. Ces deux productions peuvent être concurrentes.

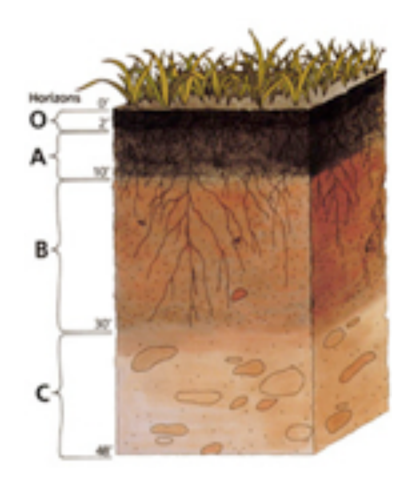
Les sols utilisables sont rares, donc précieux

La formation d'un sol est un lent processus dont vous avez étudié les grandes lignes en sixième. Comme il est possible que vous ayez oublié quelques détails depuis (je me trompe?), revoyons un peu comment, lentement, un sol peut recouvrir une étendue de roche nue.

Vous devriez vous rappeler que tout commence par une érosion superficielle de la roche sous l'effet de l'eau, qui permet à des végétaux de s'installer, et, lorsqu'ils meurent, d'enrichir lentement leur milieu en matière organique issue de leur décomposition, constituant une couche qui, en retenant l'eau, accélère à son tour l'altération des roches sous-jacente, facilitée par le développement des racines, et la libération d'éléments minéraux. Voyons cela en détail.

Au commencement, la roche, appelée roche mère, subit une véritable destruction par l'eau, ou hydrolyse, dont la vitesse est variable selon les précipitations, la nature de la roche et le climat, la température jouant à cet égard un rôle majeur (1).

Une première couche, ou horizon, se met ainsi en place au dessus de la roche nue. Elle est constituée par le produit de la dégradation des roches par l'eau: dans les régions calcaires, ce pourra être de l'argile mêlée à des morceaux de roche. Ce premier horizon est dénommé C par les scientifiques spécialistes des sols (2). Il va servir de supports à l'enracinement et à la croissance de végétaux qui, en se décomposant, vont aboutir à la formation d'un nouvel horizon, l'horizon de surface A, composé d'un mélange d'argile, d'humus et d'autres minéraux provenant de la roche-mère et de la dégradation de la matière organique. Au dessus de cet horizon se trouve la couche la plus riche en matière organique: l'humus.



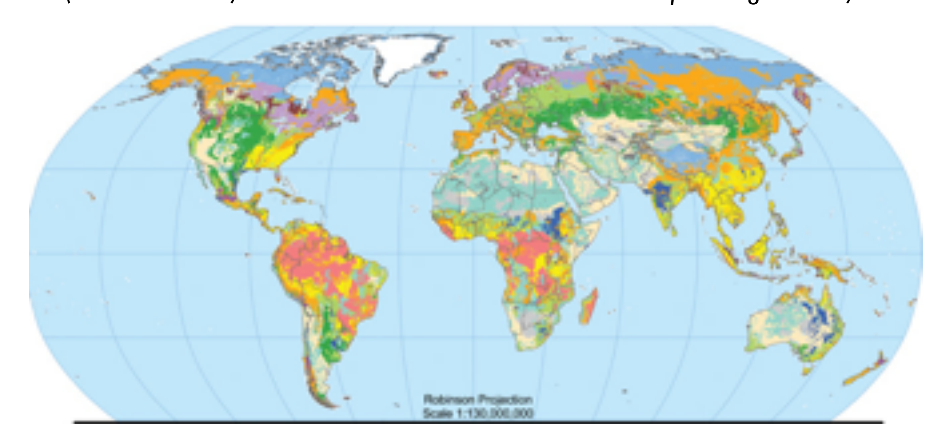
Situation des différents horizons dans le sol. Les racines des végétaux ouvrent la voie à une altération profonde de la roche-mère. Le passage d'un horizon à l'autre est, dans la réalité, bien plus progressif que sur le schéma, comme le montre la photographie ci-dessous. Documents USDA.

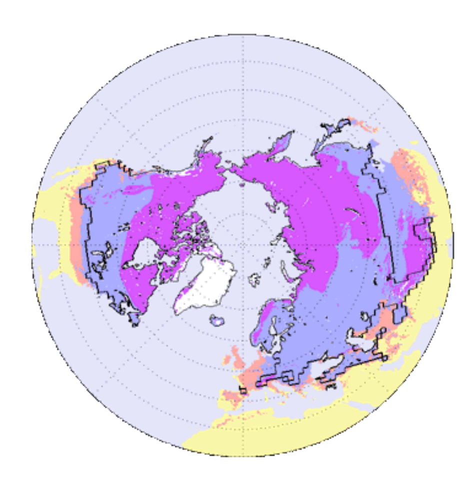


Lentement, des végétaux nécessitant des couches de sol de plus en plus profondes s'installent, la productivité du sol augmente, de la matière organique s'y accumule, et est dégradée par de nombreux êtres vivants (dont les plus célèbres sont les vers de terre, qui assurent de plus une circulation, dans le sol, des éléments profonds vers la surface), dont les plus actifs sont les champignons et les bactéries. Ces êtres vivants du sol sont extrêmement nombreux: les 30 premiers cm de profondeur d'un seul mètre carré de prairie française contiennent environ 250 millions d'organismes appartenant à plusieurs milliers d'espèces différentes (3). Si l'on s'intéresse aux bactéries, on en trouvera aisément plus de 100 millions dans un seul gramme de sol...

La dégradation de la matière organique assurée par ces différents décomposeurs enrichit également le sol en minéraux. Le sol se forme ainsi à la fois par décomposition biologique de matière organique et par altération profonde de la roche mère. À ce niveau, la destruction des éléments minéraux de l'horizon C pourra amener à la formation d'une couche intermédiaire composée d'argile et d'autres particules, l'horizon B, aussi appelé horizon minéral.

Comme les roches mères, les conditions climatiques, physiques et chimiques ainsi que les différentes espèces de décomposeurs sont très variables sur la planète, il existe de très nombreux types de sols différents (*ci-dessus : répartition des divers types de sol au niveau mondial (document USDA). Seule une fraction de ces sols est utilisable pour l'agriculture.)*





Sur la carte en vue polaire ci-dessus, les sols colorés en violet sont gelés toute l'année et sont donc impropres à l'agriculture, bien qu'ils représentent une importante surface.

Ainsi, comme les conditions de formation du sol, que ce soit au niveau de la roche mère, du climat permettant l'action de l'eau, ou des conditions de l'installation des êtres vivants, ne sont pas réunies partout sur la Terre, les sols utilisables par les humains sont inégalement répartis à la surface de la planète.

1 - Une température élevée accélérant les dégradations, jusqu'à un maximum au-delà duquel il n'y a plus de décomposeurs...

2 - Et que l'on appelle des pédologues. Tout mauvais jeu de mots serait, à ce sujet, indépendant de ma volonté...

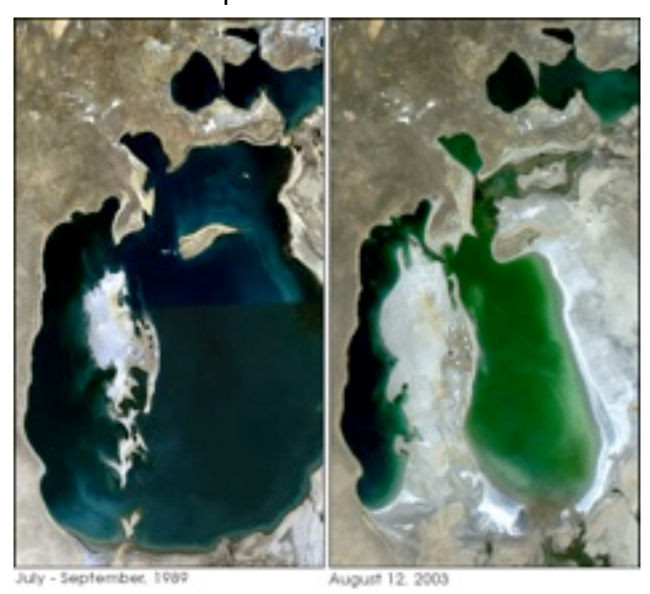
3 - et représentant une biomasse de 1,5 t par hectare (rappelons qu'un hectare est la surface d'un carré de 100 m de côté).

Toute la surface des sols arables (1) est loin d'être utilisée à des fins agricoles: des terres au sol riche sont aussi utilisées pour construire des villes et des villages, des routes, divers équipements qui prennent la place des cultures ou des végétaux présents, engendrant ainsi une véritable «consommation» des sols par les humains.

Cette consommation des sols, particulièrement développée en Asie, pose de nombreux problèmes, mais c'est aussi le cas de nombreuses pratiques qui ne consomment pas les sols, mais les détruisent: alors que la formation d'un sol est extrêmement lente, et peut nécessiter une dizaine de siècles (2), sa dégradation peut être rapide:



- l'érosion peut emporter les sols, laissant la roche mère nue et impropre à toute culture. Ce phénomène est particulièrement développé dans les zones tropicales où les précipitations sont très abondantes: un sol mis à nu par une déforestation trop intense *(Photo ci-contre : les zones du sud de Madagascar déforestées depuis 1990 apparaissent en rouge sur cette vue en fausses couleurs. Cliché NASA.)* ne peut donc pas être cultivé longtemps, car il n'est plus protégé et stabilisé par les végétaux de la forêt, et devient alors une ressource consommable, mais qui n'est pas durable. De tels sols doivent donc être gérés différemment des sols plus stables des zones tempérées, et constituent une ressource dont il faut assurer la conservation ainsi qu'une utilisation raisonnée.



- Le détournement de cours d'eau afin d'irriguer des champs, la surexploitation des forêts , la multiplication des animaux d'élevages gênant la repousse de végétaux peuvent conduire à une désertification qui stérilise le sol et le rend improductif.

(Photo ci-contre : la mer d'Aral, au Kazakhstan, a vu dans les années 60 les principaux fleuves qui l'alimentaient être détournés pour irriguer des champs de coton en URSS. Le niveau de cette mer s'est alors mis à baisser, ce qui est ici clairement visible entre 1989 et 2003, modifiant radicalement l'environnement de ses anciennes côtes. Depuis 2003, le gouvernement kazakh ainsi que des organisations internationales tentent de stabiliser et de nettoyer cette «mer» où divers polluants se sont concentrés au fur et à mesure que l'eau s'évaporait. Jusqu'à présent, ils n'y sont pas parvenus. Photo NASA.)

La gestion des sols, leur protection, leur extension et leur utilisation raisonnable constituent donc un enjeu important pour assurer le développement de l'humanité. Dans ce contexte comme dans d'autres, science et technique doivent permettre de rechercher et de construire des solutions visant à rendre compatible la civilisation humaine et l'environnement.

---

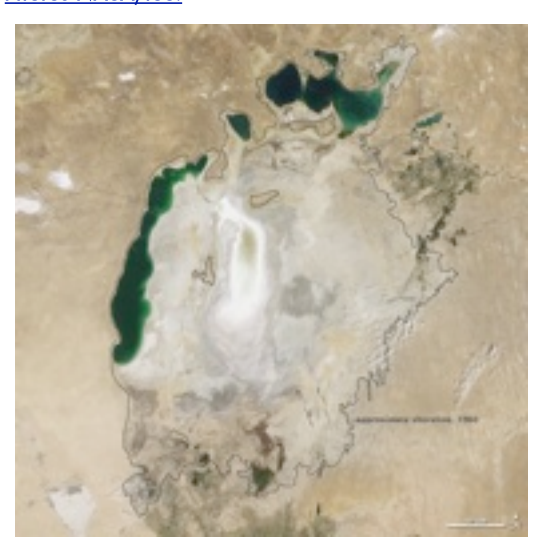
1 - Un sol arable est un sol que l'on peut cultiver.

2 - La forteresse de Kamenetz, en Ukraine, construite en dalles de calcaire, a été abandonnée en 1700. En 1930, le scientifique Akimtzev a mesuré qu'une épaisseur de sol de 12 cm seulement s'était formée pendant ces deux siècles. Ce sol possédait les mêmes propriétés que celui des prés alentour (où il était toutefois moins profond).





Estuaire de la rivière Betsiboka sur la côte nord-ouest de Madagascar: a la suite du cyclone tropical Gafilo, les fortes pluies ont emporté le sol rouge de l'île; déstabilisé par la déforestation, qui se retrouve rejeté dans l'océan (photo du haut). Les astronautes de la station spatiale ont dit qu'ils avaient l'impression que «Madagascar saignait dans l'océan». La photo du bas montre une situation «normale», les petites vues carrées représentent la ligne de côte. Le gouvernement de l'île essaye d'éviter cette érosion des sols en essayant de replanter des végétaux et en limitant la déforestation. Photos NASA/ISS.



Ce qui reste de la mer d'Aral, en aout 2009. L'ancienne côte est indiquée en noir - Photo NASA.

Résumé *de l'épisode.*

Un sol se forme à la suite d'une longue interaction entre les roches et la biosphère, conditionnée par la température et la présence d'eau. Le sol, lentement formé, est inégalement réparti à la surface de la planète, facilement dégradé par l'érosion et souvent détourné de son utilisation biologique. Sa gestion est un enjeu majeur pour l'humanité.

Questions

1/ Qu'est-ce que la photosynthèse ?
2/ Qu'appelle t'on productivité primaire ?
3/ Qu'est ce que la biomasse ?
4/ Quels sont les indices qui montrent que les combustibles fossiles proviennent d'une ancienne matière organique ?
5/ Qu'est ce que le kérogène ?
6/ Comment le rayonnement solaire peut-il créer les vents ?
7/ Le pétrole est-il seulement une ressource énergétique ?
8/ Pourquoi l'agriculture est elle en concurrence avec la biodiversité ?
9/ En matière de sol, qu'appelle t'on un horizon ?
10/ Pourquoi dit-on que les sols cultivables sont fragiles ?

Colles

1/ Quelles sont les conditions qui permettent la transformation d'une biomasse en combustible fossile ?
2/ Pourquoi peut-on dire que tous les êtres vivants sont faits de « CO_2 transformé» ?
3/ Expliquez pourquoi, alors que 75 % de la surface de la Terre est recouvert par les océans, l'eau peut ne pas y être disponible en quantités.
4/ Au moyen d'un tableau, comparez deux ressources énergétiques, l'une renouvelable et l'autre pas, au niveau de leur recherche, de leur obtention, de leur utilisation, des déchets qu'elles engendrent et de leur durabilité.
5/ Schématiser une suite d'événements consécutive à une déforestation en milieu tropical.
6/ Résumer le mode de formation d'un sol.
7/ Présentez dans un court texte (une dizaine de phrases) ce que l'on appelle les hydroliennes (vous devrez faire pour cela des recherches personnelles) !
8/ Expliquez pourquoi la recherche de pétrole se concentre au niveau des bassins sédimentaires (précisez à ce sujet si le bassin parisien et celui d'Aquitaine peuvent eux aussi contenir des combustibles fossiles).

Exercices

1 - Un Dieu parmi les hommes. (3 pts)

Vers l'an 300, le Grec Diogène Laerce écrivit «vies, doctrines et sentences des philosophes illustres», livre dans lequel il décrit les idées et les expériences des premiers scientifiques, les philosophes de l'antiquité. Parmi eux, il en est un dont, 26 siècles après, vous connaissez tous le nom. Il marqua tellement son temps, et toute notre civilisation, qu'à son époque on dit de lui qu'il était «un dieu parmi les hommes». Cet homme, c'est Pythagore (oui, celui du théorème!). Diogène mentionne que Pythagore, au 5ème siècle av. J.-C., pensait que : *«Il part du soleil un rayon qui pénètre dans l'air et la mer, atteint les profondeurs et, de ce fait, donne vie à tous les êtres.»*

Dans quelle mesure peut-on dire que Pythagore n'était pas très loin de la vérité ?

2 - Percival & la menthe (3 pts)

Dans son livre «recherches chimiques sur la végétation», Th. de Saussure mentionne les travaux du Dr Thomas Percival:

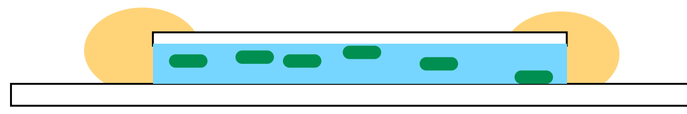
«M. Percival a observé (Mémoires de la société de Manchester, vol 2): qu'une plante de menthe alimentée par de l'eau, et exposée à un courant d'air atmosphérique mêlé de gaz acide carbonique, avait mieux prospéré qu'une plante semblable exposée à un courant d'air atmosphérique pur».

Expliquez donc l'origine des résultats constatés par T. Percival, et précisez donc à quoi sert la plante qui a reçu le courant d'air sans «acide carbonique».

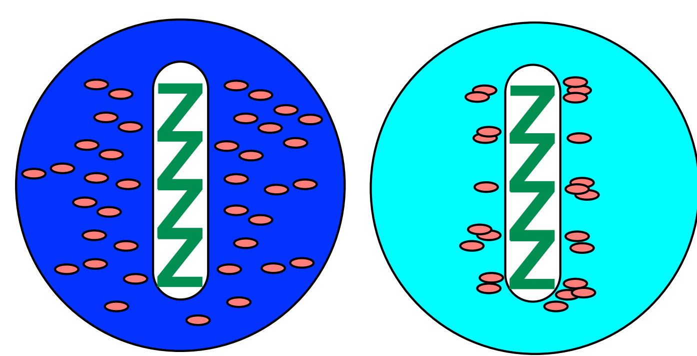
3 - L'ingénieux Mr Engelmann (7 pts)

Dans les années 1870, le botaniste George Engelmann étudiait la production de dioxygène par les végétaux. Son matériel d'étude était l'algue verte, microscopique, Spirogyra. Il lui fallait un végétal microscopique, car pour détecter le dioxygène il utilisait des bactéries, de l'espèce Bactérium thermo, qui se concentrent dans les zones contenant du dioxygène. la spirogyra possède des chloroplastes disposés en spirale (d'où son nom).

31 - Engelmann dispose (*schéma ci-dessous, échelle des différentes parties non respectée*) des filaments d'algue (*en vert*), baignant dans une goutte d'un milieu (*bleu ciel*) contenant des Bacterium thermo, sur une lame de microscope. Le tout est recouvert d'une lamelle (*transparente*), et isolé avec de la cire (*orangé*) pour éviter que l'air ne puisse pénétrer dans le milieu.



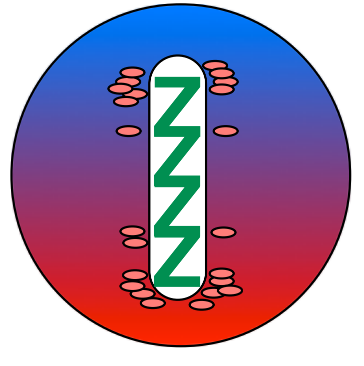
Lorsqu'il allume la lumière de son microscope, Engelmann constate que les bactéries se déplacent et se rassemblent autour du filament vert contenant les chloroplastes de l'algue (*schéma ci-dessous : Spirella est en blanc, ses chloroplastes en vert, Bacterium thermo en rose. À gauche, observation à l'obscurité, à droite à la lumière*).



311 - Pourquoi Engelmann a t'il isolé sa préparation de l'air ambiant ?

312 - Comment interpréter le comportement des bactéries ? Quelles conclusions peut-on en tirer ?

32 - Engelmann poursuit son expérience, mais il intercale entre la lumière et sa lame un prisme, qui décompose la lumière: ses algues sont éclairées alors par un «arc en ciel». Il constate alors que les Bactérium thermo ne se rassemblent près des chloroplastes que si la lumière qui éclaire les algues est bleu ou rouge (*schéma ci-contre*). Il a été démontré à l'époque que le pigment chlorophylle, présent dans les chloroplastes, absorbe la lumière bleu et rouge. Quelle conclusion peut-on tirer de cette observation ?



4 - A.F. Fourcroy et le dioxygène (7 pts)

En 1783, Lavoisier avait établi que l'eau était composée des éléments hydrogène et oxygène. Dès 1787, dans son livre «principes de chimie», Antoire François Fourcroy (qui plus tard fera partie de ceux qui établiront la formule de l'eau, H_2O) écrit «On apprécie l'action de l'eau (...) sur les feuilles des plantes exposées au soleil, qui absorbent l'hydrogène de l'eau et en séparent l'oxygène...»

Il précise également, bien qu'il n'ai pas effectué d'expériences à ce sujet: «La lumière (...) favorise la décomposition de l'eau par les feuilles, comme nous le verrons par la suite, et c'est par cette décomposition que se forme la matière combustible des plantes».

41 - Précisez ce que Fourcroy désigne par «matière combustible des plantes» (réfléchissez sur ce qui reste après avoir brûlé une plante).

42 - D'après Fourcroy, d'où provient le dioxygène relâché par les plantes ?

43 - Fourcroy a t'il réalisé là une découverte ? Réfléchissez au sens de ce mot en sciences avant d'expliquer votre réponse. Si ce n'est pas une découverte, quel nom donner à l'affirmation de Fourcroy ?

5 - Saussure a son pied (10 pts)

Au début du 19ème siècle, Nicolas Théodore de Saussure (1764-1845) effectua des expériences pour étudier la nutrition des végétaux. A son époque, plusieurs idées, non démontrées, circulaient à ce sujet: certains scientifiques étaient en faveur d'une consommation de l'humus par les plantes, d'autres pensaient que l'eau devait se transformer en minéraux dans la plante.

51 - La théorie de l'humus avait pour base ce raisonnement: les végétaux ont besoin de carbone, car ils en contiennent. L'humus dans lequel ils poussent, et qui vient de la décomposition des végétaux, contient du carbone. Ils doivent donc directement prendre leur carbone dans l'humus.

Quelles expériences, réalisées par vous même dès le collège, ou décrites dans le manuel, infirment cette théorie ?

52 - De Saussure montre qu'il est possible de cultiver des végétaux dans de l'eau additionnée de substances solubles, les «sels». Il montre ensuite que ces sels sont retrouvés dans les cendres des végétaux, si on brule ces derniers. Il mentionne dans ses conclusions *«En comparaison avec la masse des plantes la quantité de matière nutritive qui est prise dans le sol est insignifiante».*

En quoi ces résultats sont-ils en faveur d'une alimentation en carbone des plantes utilisant le CO_2 de l'atmosphère ?

6 - Made in Ardericca (6 pts)

Au 5ème siècle avant notre ère, le premier des historiens, Hérodote d'Hallicarnasse, écrit son livre «histoires», qui précise, dès son premier paragraphe, «*Hérodote d'Halicarnasse présente ici les résultats de son Enquête afin que le temps n'abolisse pas le souvenir des actions des hommes...*». Dans un de ces chapitres, il décrit la région où le roi de Perse, Darius, exile les captifs que son armée a ramenés de la ville Grecque d'Erétrie :

« Darius était très irrité contre les Erétriens avant qu'ils eussent été faits prisonniers, parce qu'ils l'avaient attaqué les premiers, sans qu'il leur en eût donné aucun juste sujet. Mais dès qu'on les lui eut amenés, et qu'il les vit en son pouvoir, il ne leur fit point de mal, et les envoya à Ardericca, en Cissie, qui lui appartenait en propre. Ce lieu est à deux cent dix stades de Suses, et à quarante du puits qui fournit trois sortes de substances, du bitume, du sel et de l'huile, qu'on puise de la manière que je vais dire. On a une bascule ou machine propre à tirer de l'eau; on y attache, au lieu de seau, la moitié d'une outre, qu'on baisse sous ces substances, et avec laquelle on les puise. On les verse ensuite dans un réservoir, et de là elles se répandent dans un autre, où elles prennent trois formes différentes. Le bitume s'épaissit, le sel se cristallise sur-le-champ, et l'on ramasse l'huile dans des vases. Les Perses appellent cette huile rhadinacé. Elle est noire, et d'une odeur forte. Darius envoya les Érétriens habiter dans ce lieu.»

61 - D'après la description d'Hérodote, qu'est-ce que le rhadinacé ?

62 - Quelle pouvait être l'utilité, dans l'antiquité, des substances récupérées ?

63 - Quelle peut bien être l'origine du sel remonté ? Formulez une hypothèse plausible en utilisant vos connaissances!

7 - L'or rance d'Arabie (8 pts)

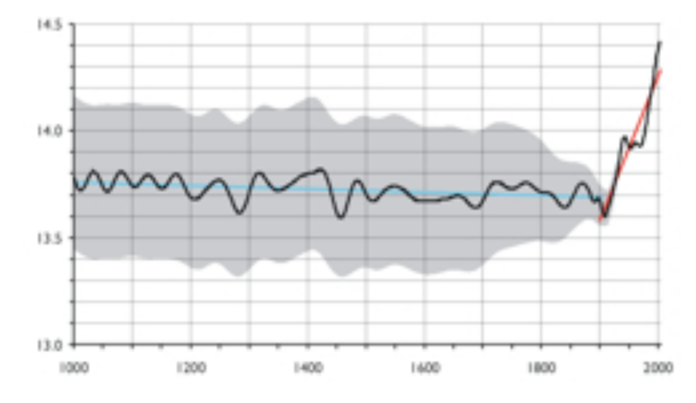
Parmi les 30 000 gisements rentables de pétrole, on compte une soixantaine de "super-géants" (réserves supérieures à 700 millions de tonnes) dont 60 % sont au Moyen-Orient et représentent 40 % des réserves prouvées de la planète. Un livre de géologie (Géologie, objets & méthodes, Dunod, 1994) nous fournit les informations suivantes sur cette région: «*Cette région (le coté NE de la plaque arabique) est l'ancienne marge continentale d'un ancien océan aujourd'hui refermé. La sédimentation peu profonde a été quasi continue du Permien jusqu'au milieu du tertiaire. Aucune érosion n'a permis la fuite des hydrocarbures, et les différentes fractures des roches n'ont pas touchées les roches couvertures imperméables*».

71 - Expliquez pourquoi l'histoire de cette région explique la présence d'importants gisements de pétrole.

72 - Pourquoi les «bassins deltaïques», c'est-à-dire les régions correspondant aux régions de raccordement (présent et passé entre les grands fleuves, comme le Mississippi ou l'Amazone, et l'océan, sont-ils aussi des régions où l'on peut espérer trouver (et où l'on a trouvé) d'importants gisements de pétrole?

8 - Mann songe ? (12 pts)

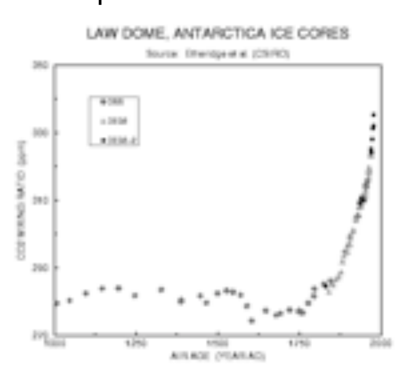
Michael Mann est un scientifique qui a cherché, avec son équipe, à reconstruire l'évolution de la température moyenne de la Terre pendant le dernier millénaire en utilisant principalement des données provenant des cernes de croissance des arbres. Le 23 avril 1998, il publie ses recherches dans la revue Nature. Ses résultats sont résumés par le graphique suivant, montrant l'évolution de la température moyenne de l'hémisphère nord (en °C) en fonction du temps:



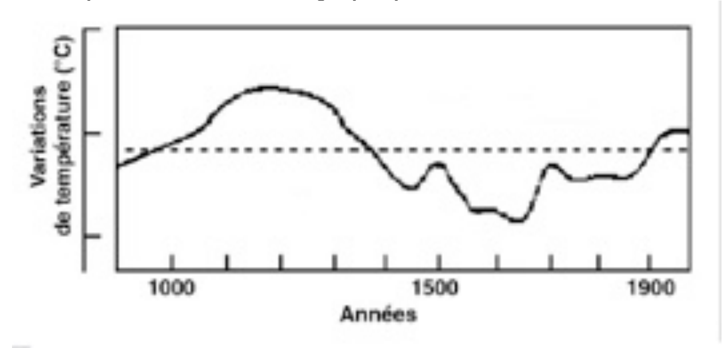
La zone grisée représente l'incertitude moyenne des mesures, la courbe noire la moyenne qu'on peut en déduire. La droite bleu ciel est la moyenne de l'an 1000 à 1900, la droite rouge de 1900 à 2000. Ce graphique devient très célèbre, est utilisé par le groupe d'experts intergouvernemental pour l'Évolution du climat (GIEC). À cause de sa forme, ce graphe est surnommé la «crosse de jockey», il est montré partout: rapports de l'ONU, chaines de TV...

8-1 Décrire d'après ce graphique quelle a été l'évolution de la température de l'hémisphère nord depuis 1000 ans.

8-2 - Ce graphique a été utilisé pour appuyer l'hypothèse selon laquelle le réchauffement climatique du vingtième siècle est lié à une augmentation de la teneur de l'atmosphère en CO_2. Expliquez le raisonnement à l'origine de cette hypothèse (*aidez-vous du graphique ci contre: évolution de la quantité de CO_2 dans l'air depuis 1000 ans - graphe* CDIAC).



8-3 Plusieurs scientifiques ont relevé des problèmes en comparant le graphique de Mann à celui résumant les informations connues jusqu'alors et confirmées par de nombreuses observations historiques bien datées. Ce graphique est le suivant:



Il a été reproduit dès 1995 dans un des rapports du même organisme, le GIEC.

831 Décrire d'après ce graphique quelle a été l'évolution de la température de l'hémisphère nord depuis 1000 ans.

832 - Comparez la description précédente avec celle que vous avez élaborée dans la question 81. Quelles sont les principales différences ?

833 - Proposez une une plusieurs hypothèses susceptibles d'expliquer les différences entre les deux graphiques.

84 - Dans les derniers rapports du GIEC (2007), les graphes proposés commencent pour la plupart en 1850. Quelles sont, selon vous, les raisons qui peuvent expliquer ce choix ?

9 - Ô sol, mi eau... (7 pts)

La photo ci-dessous (NASA/Jeff Schmaltz/Eatrth observatory) représente des sédiments se déversant dans le golfe du Mexique le 10 novembre 2009, quelques heures après le passage de la



tempête tropicale Ida à l'est de la région photographiée. Les sédiments provenant des rivières et des fleuves forment un liseré marron et des «plumes» près des côtes.

9-1 En quoi cette sédimentation montre t'elle qu'il existe un danger pour les sols ?

9-2 Après cet apport de sédiments, on constate souvent une croissance explosive de la population de phytoplancton. Proposez une hypothèse permettant d'expliquer ce phénomène.

9-3 En liaison avec la question précédente, expliquez pourquoi ces dépôts sédimentaires sont une condition favorable à la formation de kérogène conduisant au pétrole. Vous vérifierez si la région du golfe du Mexique contient des gisements.

10 - Le poumon vous dit-je, le poumon... (6 pts)

Pendant quelques années (et encore, parfois), la forêt amazonienne a été décrite comme étant «le poumon de la planète».

10-1 Recherchez et expliquez pourquoi cette analogie était une erreur.

10-2 Cette erreur diminue t'elle l'intérêt de protéger cet environnement ? Détaillez votre réponse.

Après le cours - Questions d'élèves

Le petit chimiste

La photosynthèse, c'est jamais que respirer à l'envers, non ?

Pas tout à fait, et même pas du tout, en fait: les réactions que l'on vous donne sont des bilans, il ne faut jamais l'oublier: ils sont très simplifiés. Dans ces bilans, la flèche symbolise tout en ensemble de réactions très complexes qui ne sont pas du tout les mêmes entre respiration et photosynthèse.

L'écologiste profond

Je l'ai vu à la télé, on jette tellement de CO_2 que bientôt plus personne pourra respirer et on va tous mourir (dans d'atroces souffrances, bien entendu).

La télé est, hélas, rarement une source fiable en matière de sciences! En un siècle, toutes les activités humaines (aidées peut-être par d'autres phénomènes naturels) n'ont réussi qu'à faire passer la quantité de dans l'atmosphère de 0,03 à moins de 0,04 %... Le gaz qui nous est indispensable pour respirer, le dioxygène, représente 20 % de l'atmosphère, et sa quantité ne diminue pas: On va tous mourir, certes, mais inutile de nous presser, et ce ne sera certainement pas d'une asphyxie généralisée...

L'inquiet

Dans dix ans, de toute façon, y aura plus de pétrole!!

Pas du tout, il y aura encore longtemps du pétrole, car les réserves connues actuellement, d'environ 2000 milliards de barils, ainsi que les gisements estimés permettent d'en envisager la production pendant un siècle environ. Par contre, l'utilisation de cette ressource évoluera sans doute beaucoup, son coût aussi, et il risque d'être surtout, à l'avenir, employé uniquement pour satisfaire les besoins pour lequel il est irremplaçable! À plus long terme, des solutions seront développées pour remplacer cette ressource.

Le paysan (au bon sens légendaire)

Mais le sol, ça bouge pas! C'est toujours là!

Si tu as déjà vu la moindre rivière après une forte pluie, tu as vu la couleur marron qu'elle prend et conserve plusieurs jours: ce marron, ce sont bien les éléments du sol qui ont été emportés par l'eau. Sous nos latitudes, les chutes de pluie sont peu violentes, mais en milieu tropical l'usure des sols est plus intense et plus évidente! Pensez ainsi au rôle historique des sédiments déposés chaque année par le Nil dans l'antiquité égyptienne.

Le visionnaire (allant hardiment là où personne n'était encore allé)

J'ai vu dans un reportage que l'on pouvait faire des centrales solaires en orbite. Même que les Japonais y vont le faire!

C'est une voie de recherche, parmi d'autres. Le problème est de transmettre l'énergie au sol, et le coût de la mise en orbite est gigantesque. De plus, notre planète ne manque pas de zones désertiques ensoleillées dont l'accès est tout de même plus facile que l'orbite basse ! Mais elles ne sont pas au Japon...

Corrections

Questions

1/ La photosynthèse est le métabolisme par lequel le carbone atmosphérique est incorporé dans les molécules organiques en utilisant pour cela l'énergie fournie par la lumière. Elle caractérise le plus souvent les producteurs primaires d'un milieu.

2/ La productivité primaire est la quantité de biomasse fabriquée par les producteurs primaires d'un milieu le plus souvent, cela correspond à la masse de végétaux fabriquée par unité de temps.

3/ La biomasse est la masse des organismes vivants présents dans un milieu. Le plus souvent, ce terme est utilisé comme synonyme de matière organique.

4/ Les indices qui montrent que les combustibles fossiles proviennent d'une ancienne matière organique sont:
- leur teneur en carbone
- la présence de fossiles soit macroscopiques (végétaux inclus dans le charbon), soit microscopiques (pollens...) soit moléculaires (molécules d'origine organique, caractéristique de certaines membranes bactériennes par exemple)
- les divers stades de formation qui ont tous été observé simultanément (dégagement de gaz dans les marais, formation de tourbe, gisements de charbons de richesse variée en carbone, altération des gisements superficiels de pétrole....
- leur emplacement et leur âge, correspondant à des lieux et des époques de forte productivité.

5/ Le kérogène est le mélange de matière organique en décomposition, en profondeur, à l'abri du dioxygène et dont les transformations sous l'influence de la température et la pression conduisent à la formation de combustibles fossiles.

6/ Le rayonnement solaire ne se répartit pas de façon égale sur le sol., à cause de la forme sphérique de la Terre. A l'équateur, il frappe «directement», de face, le sol, le chauffant plus fortement qu'aux pôles, où il s'étale tangentiellement à la surface de la planète. A l'équateur, le sol chauffe donc davantage l'air qu'aux latitudes supérieures, et comme l'air chaud est moins dense que l'air froid, il s'élève dans l'atmosphère, remplacé par de l'air plus frais qui doit bien, pour cela, se déplacer: les vents sont ainsi créés.

7/ Le pétrole n'est pas seulement une ressource énergétique, c'est aussi une matière première qui permet la fabrication et la synthèse de nombreux produits qui ne sont pas des sources d'énergie: bitumes mais aussi peintures, solvants, médicaments, engrais, matières plastiques...

8/ L'agriculture implique de choisir et de favoriser les végétaux qui nous sont utiles: nous leur réservons de vastes territoires pour qu'ils puissent se développer en paix, nous assurons leur nutrition de façon optimale (apports d'engrais sous plusieurs formes), nous les protégeons de leurs prédateurs (surtout les insectes, mais aussi les petits mammifères comme les mulots et les souris) ainsi que de leurs parasites (champignons), et nous éliminons leurs concurrents.

Cette élimination des différents «gêneurs» implique bien une réduction de la biodiversité par occupation des territoires autrefois utilisés par des végétaux variés (et une autre population animale) ainsi que par élimination des espèces végétales ou animales qui gênent le développement des plantes agricoles. Il y a donc bien une concurrence entre les végétaux cultivés et ceux qui occupaient précédemment leur lieu de culture, mais aussi une concurrence entre les populations animales «tolérées» dans les cultures et celles présentes dans le milieu avant sa mise en culture.

9/ Un horizon est une couche distincte et repérable dans un sol. Ces différents horizons sont nommés par des lettres, ils ne sont pas tous présents dans tous les sols.

10/Les sols cultivables sont fragiles, car ils constituent une couche, d'épaisseur variable, qui n'est pas toujours stable et peut être détachée de la roche mère et emportée par plusieurs phénomènes d'érosion, surtout liés aux pluies abondantes. De plus, ces sols peuvent être «épuisés» par une utilisation trop intense de leurs ressources minérales, ce qui forcera ensuite à les «compléter» par différents apports minéraux si l'on veut les utiliser en continu.

Colles

1/ Les conditions qui permettent la transformation d'une biomasse en combustible fossile sont:
- des dépôts importants de matière organique
- une sédimentation importante qui met la matière organique à l'abri du dioxygène
- une poursuite pendant de longues durées (se comptant en dizaines de millions d'années, voire plus) de l'ensemble dépôt/ ensevelissement, avec enfoncement progressif des dépôts de matière organique à quelques kilomètres de profondeur.

2/ On peut dire que tous les êtres vivants sont faits de «CO_2 transformé» car le carbone de toutes leurs molécules provient du CO_2 qui a été incorporé, par un végétal utilisant ma photosynthèse, dans des molécules organiques qui, transformées par la suite au fil des chaines alimentaires, ont fini par constituer l'être vivant considéré.

3/ 75 % de la surface de la Terre est recouverte par les océans, mais l'eau des océans, salée, n'est pas directement utilisable par les animaux ou les végétaux. Comme cette eau salée représente 97 % de l'eau disponible sur Terre, l'eau douce, ou plus exactement l'eau liquide contenant peu de sels minéraux, seule forme utilisable par les êtres vivants, est donc rare dans de nombreuses régions de la planète.

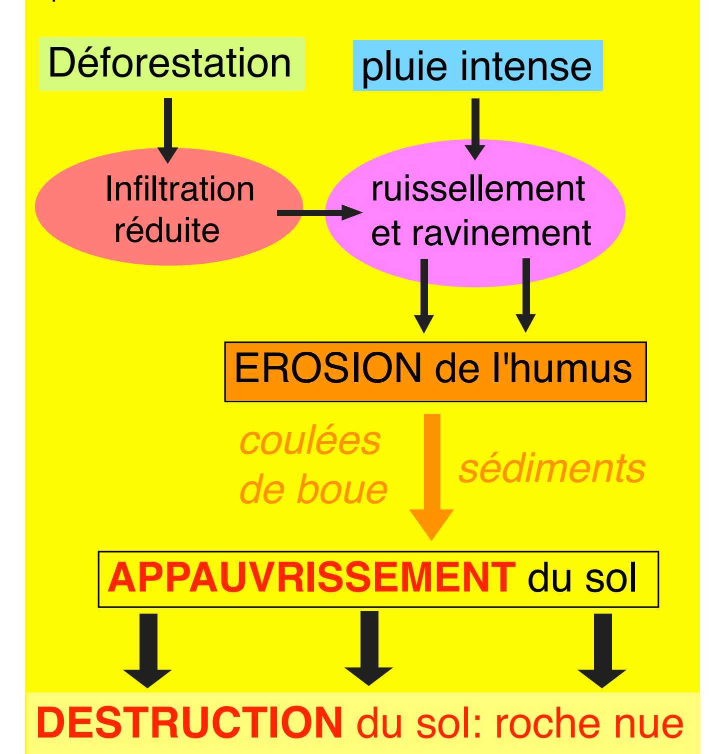
De plus, vous pouvez songer à ce que vous avez appris en chimie: comme de très nombreuses substances peuvent se dissoudre dans l'eau, l'eau peut se charger très facilement de produits plus ou moins toxiques, et devenir ainsi impropre à la consommation... C'est aussi un milieu favorable, lorsqu'il est contaminé, à la multiplication de nombreux micro-organismes pathogènes. L'eau douce est donc non seulement rare, mais aussi fragile.

4/ Tableau comparatif de deux ressources énergétiques: afin de vous aider malgré les différents choix possibles, le tableau ci-dessous compare, selon les termes demandés, plusieurs ressources énergétiques. En choisissant les deux lignes correspondantes à vos choix, vous pourrez corriger votre travail.

ressource	recherche	obtention	utilisation	déchets	durabilité
pétrole	difficile et couteuse	forage, transport sur de longues distances	matière première, transports	peu à l'usage, nombreux à l'extraction, transport dangereux.	un à quelques siècles environ
charbon	simple	mines	énergie	gaz soufrés, méthane, terrils	plusieurs siècles
gaz	comme le pétrole	forages	énergie	très faibles	un siècle
nucléaire	prospection minière, difficile	mines	énergie, médecine recherche	matières radio-actives, parfois à très longue dangerosité (éventuellement réutilisables)	un à quelques siècles
hydro-électrique	simple (cours d'eau)	barrages	énergie, réserve d'eau	très peu (modifie les paysages)	tant que l'eau coule
solaire	simple	difficile car énergie diluée sur une grande surface	énergie	faibles (fabrication / recyclage des panneaux)	4 milliards d'années.

5/ Schématiser veut bien dire représenter sous forme de schéma, donc inutile de bien savoir dessiner des arbres et autres sols: un simple diagramme permet de répondre parfaitement à la question posée. Voici un exemple (il existe bien d'autres possibilités) de réponse, qui débute bien entendu, comme tout schéma, par un titre, et se poursuit par un petit commentaire (indispensable!):

Suite d'événements consécutifs à une déforestation en milieu tropical.



La destruction de la couverture végétale réduit l'infiltration des eaux de pluie et favorise, si elles sont intenses, le ruissellement et le ravinement des sols. L'humus est peu à peu emporté, n'étant plus maintenu en place par les racines des végétaux, sous forme de coulées de boue ou de sédiments. Ce déplacement cause un appauvrissement des sols qui peut même déboucher sur leur destruction, la roche nue apparaissant en surface et interdisant alors toute culture.

<u>Remarque:</u> le schéma ci-dessus décrit une possibilité, pas une fatalité. La déforestation peut être nécessaire pour permettre, tout simplement, de nourrir les populations locales ou pour contribuer au développement du pays. Elle doit alors être accompagnée de mesures visant à éviter l'usure des sols et à maintenir une certaine biodiversité.

6/ Mode de formation d'un sol.

Un sol se forme par altération (destruction, fragmentation, modification chimique) d'une roche sous l'influence tout d'abord de l'eau et de la température,, puis des êtres vivants, en particulier les champignons, les bactéries puis les végétaux qui vont accélérer, influencer et modifier cette dégradation. La lente accumulation de matériaux organique, leur dégradation biologique, leur mélange avec les éléments minéraux, entre autres par l'influence des vers de terre, va aboutir à la formation de plusieurs couches, ou horizons, dont les plus externes, riche en éléments nutritifs, permettent l'enracinement des végétaux qui les stabilisent et assurent leur maintien.

7/ Il est facile de trouves des documents sur les hydroliennes. Vous devriez avoir rédigé quelques paragraphes dans ce style:

Une hydrolienne est une machine qui utilise l'énergie d'un courant aquatique, qu'il soit maritime ou dans un cours d'eau, qu'il transforme en énergie électrique. Ces machines sont la version électrique du moulin à eau connu depuis l'antiquité. Il n'existe pas encore d'hydroliennes en activité (bien que l'on puisse considérer que les turbines des barrages sont des hydroliennes), mais plusieurs projets sont à l'étude, en particulier au Québec, dans le fleuve St Laurent, où deux turbines ont été récemment (aout 2010) installées. Elles doivent leur nom à l'analogie avec les éoliennes, qui elles génèrent de l'électricité à partir des courants... d'air (les vents).

Ci-dessous : projet d'hydrolienne de la société Tidal Stream (*image tidalstream partners/wikimedia*).



8/ La recherche de pétrole se concentre au niveau des bassins sédimentaires, car la formation du pétrole nécessite une longue sédimentation de matière organique à l'abri du dioxygène. Cette sédimentation devant se poursuivre pendant des dizaines de millions d'années, elle se trouve être à l'origine de la formation de grandes étendues de roches sédimentaires, les bassins sédimentaires. C'est donc au niveau de ces zones (émergées ou immergées) que l'on a le plus de chance de découvrir du pétrole.

Le bassin parisien et celui d'Aquitaine peuvent donc eux aussi contenir des combustibles fossiles: plusieurs gisements ont d'ailleurs été identifiés et exploités dans le bassin parisien (Marne, Essonne et Seine-et-Marne), et le bassin aquitain renferme un gisement de gaz, à Lacq, exploité entre 1951 et aujourd'hui. Des puits de pétrole ont également été exploités en Aquitaine, à Parentis (Landes) par exemple. Si les puits ne sont plus (ou peu) exploités, ce n'est pas à cause de leur épuisement (réel), mais du prix de revient trop élevé du pétrole obtenu par leur exploitation (Il existe une soixantaine de puits de pétrole ne France métropolitaine, qui ont produit 1,2 million de tonnes en 2002, soit 2% de la consommation du pays).

Exercices

<u>1 - Un Dieu parmi les hommes. (3 pts)</u>

Pythagore, au 5^{éme} siècle av. J.-C.: «*Il part du soleil un rayon qui pénètre dans l'air et la mer, atteint les profondeurs et, de ce fait, donne vie à tous les êtres.*»

Pythagore n'était pas très loin de la vérité, car sa description peut être interprétée comme étant une intuition du rôle de la photosynthèse: les rayons lumineux traversent l'air et la surface des eaux qui apportent à la biosphère l'énergie qui permet aux producteurs primaires de fabriquer de la matière organique et donc, en constituant ainsi la base de toutes les chaines alimentaires, de «donner vie à tous les êtres».

🏛 Attention toutefois: il est très difficile d'analyser les déclarations des scientifiques du passé à travers nos connaissances actuelles, et ce qui peut passer pour une lumineuse (c'est le cas de la dire!) intuition peut ne relever que de la coïncidence. Le but de cet exercice est de vous faire réfléchir sur la photosynthèse, pas de vous

faire croire qu'elle avait été «inventée» ou «devinée» par Pythagore il y a 26 siècles, bien que le génie de ce philosophe ait été considérable! Ainsi, la citation de Pythagore peut aussi se lire comme un témoignage de l'existence d'un lien pressenti, et ce dans de très nombreuses cultures, entre le soleil, la lumière solaire, et la vie.

2 - Percival & la menthe (3 pts)

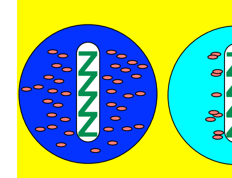
Dr Thomas Percival: «une plante de menthe alimentée par de l'eau, et exposée à un courant d'air atmosphérique mêlé de gaz acide carbonique, avait mieux prospéré qu'une plante semblable exposée à un courant d'air atmosphérique pur».

Les résultats observés par T. Percival s'expliquent aisément: une des plantes a reçu un supplément «d'acide carbonique», c'est à dire de CO_2. Cette quantité supplémentaire de carbone disponible lui a permis d'effectuer une croissance plus rapide, car son taux d'incorporation de carbone atmosphérique a été supérieur à celui de l'autre plante. Le rôle de cette dernière, qui a reçu un courant d'air «normal», est de servir de témoin.

 Le rôle du témoin, en sciences, est d'isoler, par comparaison, le rôle du seul paramètre qui varie dans une expérience, à savoir ici la présence ou l'absence d'une quantité supplémentaire de CO_2 disponible pour la plante.

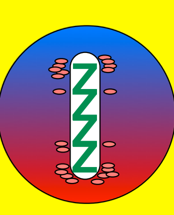
3 - L'ingénieux Mr Engelmann (7 pts)

31 *Spirella est en blanc, ses chloroplastes en vert, Bacterium thermo en rose. À gauche, observation à l'obscurité, à droite à la lumière.*



311 - Engelmann a t'il isolé sa préparation de l'air ambiant, car il veut étudier la production de dioxygène par *Spirella*. S'il n'isole pas sa préparation, le dioxygène de l'air va pénétrer dedans et il ne pourra plus alors savoir si le dioxygène, révélé par le comportement des bactéries, provient de l'air extérieur ou de *Spirella*. Le dioxygène de l'air interférerait avec celui produit par ses végétaux, et rendrait l'interprétation de l'expérience plus difficile.

312 - Les bactéries se concentrent autour du filament vert, correspondant aux chloroplastes, de *Spirella*. Comme ces bactéries sont attirées par le dioxygène, on peut donc en déduire que ce gaz est libéré dans l'eau (où il se dissout) au niveau de cet organite. Le dégagement d'O_2 étant un des composants de la photosynthèse, on peut en conclure que ce métabolisme se déroule, au moins partiellement, au niveau du chloroplaste.



32 - Engelmann, observe que les *Bactérium thermo* ne se rassemblent près des chloroplastes que si la lumière qui éclaire les algues est bleu ou rouge. Cela signifie que le dégagement de dioxygène ne se produit que si le chloroplaste est éclairé par de la lumière bleu ou rouge. Or, ces couleurs coïncident avec celles qui sont absorbées par le pigment chlorophylle (auquel le chloroplaste doit sa couleur verte). On en conclut que la chlorophylle est bien plus qu'en simple colorant; c'est cette molécule qui absorbe l'énergie lumineuse pour réaliser la photosynthèse, puisque la «signature» de ce métabolisme, le dégagement de dioxygène, ne se produit que dans les régions ou la chlorophylle peut absorber la lumière. La chlorophylle est donc le «capteur» de l'énergie de la lumière nécessaire pour de faire entrer le C du CO_2 de l'air dans les molécules organiques fabriquées par les producteurs primaires (qui sont, le plus souvent, des végétaux).

Engelmann a réalisé ainsi une magnifique expérience, extrêmement ingénieuse!

4 - A.F. Fourcroy et le dioxygène (7 pts)

41 - Fourcroy désigne par «matière combustible des plantes» la matière susceptible de bruler. Comme vous avez étudié les combustions (*oui, il ne faut pas oublier ce que vous avez vu en chimie et physique lorsque vous êtes en biologie: la démarche scientifique est une et indivisible...*), vous savez qu'elles libèrent du CO_2 et de l'H_2O. Autrement dit, les matières combustibles comprennent des matériaux contenant C, H et O... autrement dit... de la matière organique!

Il était aussi possible de trouver cela en réfléchissant à ce qui reste des végétaux qui ont brulé: il reste des cendres, donc des éléments minéraux (à tel point que les cendres sont même parfois utilisées comme engrais), ce qui signifie bien que les combustions ont «enlevé» à la plante toute sa matière organique (puisqu'il ne reste que les minéraux), ce qui montre l'identité entre matière «combustible» et organique.

42 - Simple exercice de lecture: Fourcroy écrit que «les feuilles des plantes exposées au soleil, (qui) absorbent l'hydrogène de l'eau et en séparent l'oxygène». A son époque, il a été démontré par Lavoisier que l'eau contient les éléments H et O. Pour Fourcroy, le dioxygène relâché par les plantes provient de l'eau. Cela revient à dire que les végétaux sont capables de réaliser le décomposition de l'eau en ses éléments, ce que Fourcroy souligne clairement puisqu'il parle bien de « la décomposition de l'eau par les feuilles» . Pour lui, les végétaux décomposent l'eau en H, utilisé dans les molécules organiques, et O, relâché sous forme de O_2.

43 - Fourcroy n'a pas réalisé une découverte. En effet, il ne propose aucune expérience, aucune observation permettant de prouver ce qu'il avance. Le dioxygène pourrait, en effet, aussi provenir du CO_2, comme le pensait la majorité des scientifiques de son époque (ils se trompaient, preuve supplémentaire qu'en matière de sciences le nombre n'établit pas la vérité).

Fourcroy propose une possibilité, il formule une hypothèse, cette dernière ayant été confirmée, bien plus tard, on peut parler au sujet de cette idée d'intuition.

L'intuition est indispensable en sciences, elle guide les chercheurs dans l'exploration de nouvelles idées, mais elle doit être complétée par des observations et des expériences pour établir des faits scientifiques.

Remarque: ce n'est que la seconde moitié du vingtième siècle, en utilisant des atomes d'oxygène «marqués» par leur radio-activité, que les chercheurs ont pu vérifier que Fourcroy avait raison. Beaucoup de temps peut donc s'écouler entre une intuition et sa confirmation expérimentale!

5 - *Saussure a son pied (10 pts)*

Au début du 19éme siècle, Nicolas Théodore de Saussure (1764-1845) effectua des expériences pour étudier la nutrition des végétaux. A son époque, plusieurs idées, non démontrées, circulaient à ce sujet: certains scientifiques étaient en faveur d'une consommation de l'humus par les plantes, d'autres pensaient que l'eau devait se transformer en minéraux dans la plante.

51 - Plusieurs observations et expériences montrent que les végétaux ne peuvent pas trouver leur carbone dans l'humus.

Tout d'abord, vous avez tous fait germer des pois ou des lentilles dans du coton: ces végétaux peuvent se développer pour peu que leur support soit humide. On peut objecter que le coton contient du carbone, ou que les graines contiennent des réserves, mais il est d'autres exemples.

Ainsi, des bambous sont couramment vendus dans des pots qui ne contiennent que de l'eau. Ils peuvent se développer en recevant uniquement de l'eau régulièrement (cette eau contient des sels minéraux). Il n'ont alors aucune source de carbone à leur

disposition (ni le verre du vase, ni l'eau n'en contiennent), ce qui ne les empêche pas de se développer.

Une démonstration supplémentaire, expérimentale, est celle donnée p. 66 (oui, vous vous en souvenez, non?): c'est l'expérience de Van Helmont, qui montre que la masse de matière qui disparait du sol où pousse un arbre est négligeable par rapport à l'augmentation de la masse de l'arbre. Le carbone de l'arbre ne peut donc provenir du sol, puisque la masse de ce dernier ne varie presque pas alors que celle de l'arbre, fait de matière organique, donc carbonée, augmente fortement.

52 - Comme il est possible de cultiver des végétaux dans de l'eau additionnée de substances solubles, les «sels», cela signifie que les végétaux puisent leur carbone ailleurs que dans l'eau, qui n'en contient pas. Le seul autre milieu avec lequel ils sont en contact étant l'atmosphère, cette dernière doit être la source de carbone, ce qui n'est possible que grâce au CO_2 qu'elle contient.

À l'époque de Saussure, certains pensaient qu'il était possible qu'une «miraculeuse» transformation change les minéraux en carbone, ou bien que les sels minéraux contenaient du carbone (ce qui semble plus logique). Mais comme les minéraux absorbés par la plante sont retrouvés dans ses cendres, cela montre qu'ils ne sont pas «transformés» et qu'ils ne contiennent pas de carbone. La source de C doit donc être recherchée ailleurs.

Ceci est confirmé par la quantité «insignifiante» de matière nutritive puisée dans les sols: comme la masse des éléments qui y sont puisés est trop faible pour correspondre à celle des végétaux, il faut bien que ces derniers «fabriquent» leur matière à partir d'une autre source que le sol: il ne reste que l'eau, qui ne contient pas de carbone, et le CO_2 atmosphérique, qui reste donc bien la seule source de C disponible.

6 - Made in Ardericca (6 pts)

61 - D'après la description d'Hérodote, le rhadinacé est un mélange de pétrole et de sel.

62 - À partir du puits, on obtient du bitume, du sel et de l'huile. Dans l'antiquité, le bitume était utilisé pour rendre étanche les coques des bateaux, le sel pour conserver les aliments, et l'huile pour l'éclairage (les fameuses «lampes à huile » que vous pouvez voir dans tous les musées consacrés à l'antiquité).

Ceux qui trouveront qu'il ne s'agit pas là d'une question de SVT doivent réfléchir: les connaissances ne sont pas séparées en catégories distinctes, l'ensemble fait partie d'une culture que vous devez intégrer pour apprendre à réfléchir et à agir de façon rationnelle...

63 - L'origine du sel remonté avec le pétrole est assez facile à trouver: le pétrole se forme à la suite d'une longue sédimentation planctonique en milieu marin. Cette sédimentation n'est pas pour autant régulière, en ce sens qu'elle peut s'interrompre périodiquement, et les régions marines où elle se produisant s'assèchent alors. Qu'est-ce qui se dépose lorsque la mer s'assèche ? Du sel, comme tous les marais salants vous le démontrent... Le sel constitue donc une couche sédimentaire par-dessus celle qui donnera le pétrole, et il peut se retrouver enfoui à son tour sous d'autres matériaux (comment croyez-vous que se soient formées les «mines de sel » ?).

Le sel et le pétrole résultant tous deux de dépôts se produisant dans le même environnement, il n'est donc pas rare, ni surprenant, de trouver ces deux roches associées.

7 - L'or rance d'Arabie (8 pts)

71 - Les régions pétrolifères du moyen orient sont, d'après les données fournies, une «*ancienne marge continentale d'un ancien océan aujourd'hui refermé. La sédimentation peu profonde a été quasi continue du Permien jusqu'au milieu du tertiaire.*»

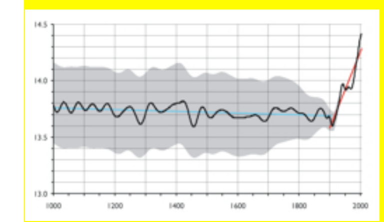
Donc, dans cette région, une sédimentation marine en eau peu profonde a pu se poursuivre pendant une très longue durée. Comme vous l'avez vérifié, entre le permien et le milieu de l'époque tertiaire se sont écoulés la bagatelle de 300 millions d'années environ. Pendant tout ce temps, on était en eau peu profonde, donc avec de la lumière dans l'eau, situation profitable à la croissance du plancton végétal. Ce plancton a pu sédimenter à l'abri du dioxygène pendant 300 millions d'années, enseveli périodiquement sous des couches de sédiments, formant ainsi d'immenses gisements de kérogène, puisque la fermeture progressive de l'océan (hé oui, il ne faut pas oublier votre cour de quatrième...) a pu enfoncer progressivement ces sédiments, les recouvrir et les compresser pour les amener aux températures et pression propres à la formation du pétrole (voir graphe p. 70).

De plus, on nous précise qu'«*aucune érosion n'a permis la fuite des hydrocarbures*» et que les «*roches couvertures*» sont restées «*imperméables*». Le pétrole, une fois formé, a donc pu se concentrer sans arriver à la surface, ce qui lui a évité de se dégrader (en donnant du bitume, par exemple).

Cette suite de longue sédimentation, d'enfouissement et de conservation explique donc la présence d'importants gisements de pétrole dans cette région.

72 - Dans les «bassins deltaïques», les grands fleuves rejoignent l'océan. Dans l'océan, il y a du plancton. Dans les grands fleuves, il y a des sédiments. Les sédiments peuvent donc recouvrir le plancton mort, le mettant à l'abri du dioxygène. Comme les fleuves coulent pendant de très longues périodes, ils apportent une grande quantité de sédiments et, à leur embouchure, peuvent ainsi recouvrir de vastes territoires marins de sédiments. En s'entassant, ces sédiments vont enfoncer les précédents, les amenant à une température et pression favorable à la formation de pétrole. On peut donc espérer trouver d'importants gisements de pétrole au voisinage du delta des grands fleuves.

8 - Mann songe ? (12 pts)

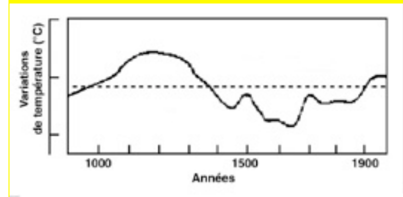


1998: évolution de la température moyenne de l'hémisphère nord (en °C) en fonction du temps:

8-1 D'après ce graphique, la température moyenne de l'hémisphère nord-est restée stable (où à légèrement baissée) pendant 900 ans, entre l'an 1000 et 1900. Durant cette période, il y a eu alternances de périodes de léger refroidissement et réchauffement. À partir de 1900 et jusqu'à 2000, on constate une brusque augmentation de la température moyenne pendant tout les 20^{éme} siècle, augmentation inégalée jusqu'ici.

8-2 - Le raisonnement selon lequel le réchauffement climatique du vingtième siècle est lié à une augmentation de la teneur de l'atmosphère en CO_2 est le suivant: on constate sur le graphique ci-dessus une augmentation de la température au 20^{éme} siècle. Or, le graphique décrivant l'évolution de la quantité de CO_2 atmosphérique pendant 100 ans (p 83) montre que se produit en même temps, et sur la même période, une augmentation de la teneur de l'atmosphère en CO_2. Il est donc facile, sachant que le CO_2 est un gaz qui est à l'origine d'un effet de serre réchauffant le planète, de conclure que l'augmentation de la teneur en CO_2 de l'atmosphère est responsable de l'augmentation de la température moyenne de l'hémisphère N.

8-3

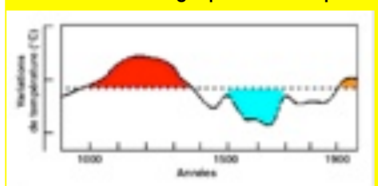


Graphe de 1995.

831 D'après ce graphique, la température de l'hémisphère nord a beaucoup variée en 1000 ans. De 1100 à 1300, la température était élevée, plus qu'actuellement (les spécialistes

parlent de «période chaude du moyen-âge) puis autour de 1600, il s'est produit une chute importante des températures (les spécialistes parlent de «petit âge glaciaire»). Les températures remontent à partir de 1650 environ puis se stabilisent en dessous de la moyenne pendant 200 ans environ avant de remonter à partir de 1850 et d'atteindre un palier actuel, où la température reste inférieure à celle du moyen-âge.

832 - Le graphe de la question 81 montre une température stable augmentant brusquement au vingtième siècle. Le graphe de la question 83 montre une température variable au cours du dernier millénaire, chaude au moyen âge, puis froide, et augmentant dernièrement (zones rouge, bleu puis orange sur le graphe ci -dessus).



Les principales différences sont donc l'existence de ces périodes historiques chaudes et froides, qui n'apparaissent pas sur le graphe de 1998.

833 Dans cette question, on vous demande de formuler une hypothèse. Il existe donc plusieurs «bonnes» réponses, ou plutôt plusieurs réponses acceptables, même si elles ne correspondent pas pour autant à la réalité: il vous suffit de montrer ici vos capacités de réflexion critique.

Plusieurs hypothèses permettent d'expliquer les différences entre les deux graphiques:

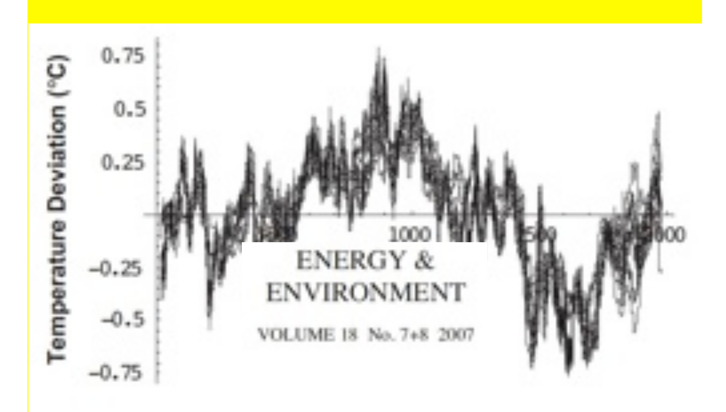
- la plus simple est de proposer que le graphique e plus ancien soit erroné, et que le graphique le plus récent (1998) le remplace, et soit plus précis. Il y a toutefois un problème, puisqu'on est sur, de par des témoignages historiques (ainsi, d'ailleurs, que des traces analysables) de l'existence des périodes chaude et froide apparaissant sur le graphique de 1995.
- Une autre hypothèse est que le second graphe, de 1998, est erroné: visiblement, il est au moins partiellement faux pour la période historique, puisqu'il ne voit aucune période chaude ou froide. Peut-être que les cernes de croissance des arbres ne sont pas des indices fiables de la température dans le passé au-delà d'un siècle, ou moins...
- La troisième hypothèse est dérangeante, mais il faut en parler dans la réalité de la démarche scientifique: c'est la possibilité d'une erreur plus ou moins volontaire. Le premier graphe est «historiquement» prouvé dans ses grandes lignes, mais le second, par exemple, pourrait-il avoir été, plus ou moins volontairement, truqué ?

Il est apparu que cette hypothèse était correcte: M. Mann a utilisé, pour construire son graphe, un programme informatique qui «sélectionnait» les données (il devait faire automatiquement, à grande échelle, ce que vous faites en physique lorsque vous construisez un graphe et que vous avez un point qui visiblement est mal placé, à cause d'une erreur de mesure par exemple: vous négligez alors ce point, ce qui est logique....). Or, une autre équipe de scientifiques à découvert qu'en fournissant à ce programme des données (des points) choisies au hasard, on obtenait toujours le même genre de graphique! M. Mann s'est donc trompé. Cela peut arriver à tout scientifique... Il est donc important, en sciences, de recouper diverses sources d'informations pour vérifier les données et les graphes obtenus. A titre d'exemple, le graphe actuel (2007) décrivant l'évolution de la température terrestre moyenne sur 1000 ans est donné au début de la colonne suivante.

84 - Deux types de raisons peuvent expliquer le choix de faire commencer la plupart des graphes en 1850:

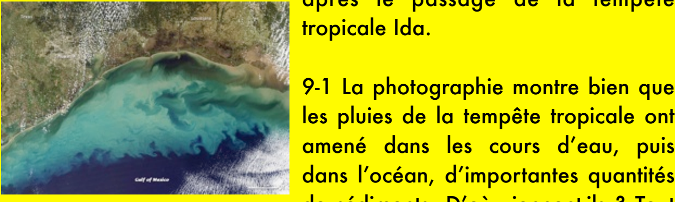
- une raison scientifique. C'est à partir de cette date que l'on considère disposer d'enregistrements fiables de la température, ou de la quantité de CO_2 dans l'atmosphère, ou de tout autre élément dont on souhaite mesurer l'évolution.
- une raison «politique». En commençant en 1850, on commence au niveau le plus bas de la courbe décrivant l'évolution de la température... dont la croissance récente se trouve donc, de cette façon, mieux mise en valeur.

Évolution de la température terrestre moyenne sur 1000 ans



9 - Ô sol, mi-eau... (7 pts)

Sédiments se déversant dans le golfe du Mexique quelques heures après le passage de la tempête tropicale Ida.



9-1 La photographie montre bien que les pluies de la tempête tropicale ont amené dans les cours d'eau, puis dans l'océan, d'importantes quantités de sédiments. D'où viennent-ils ? Tout simplement des sols de la région, ce qui signifie qu'une partie de ces sols a été «lessivée», qu'une partie de l'humus a été emporté et va se retrouver déposée au fond du golfe du Mexique. Les sols ainsi emportés dont endommagés. S'ils ne se reforment pas plus vite qu'ils ne s'érodent, ils peuvent même être détruits.

9-2 Il n'est pas difficile de proposer une hypothèse expliquant la croissance explosive de la population de phytoplancton après cet apport de sédiments si l'on pense que le phytoplancton, comme son nom l'indique (phyto=plante), est constitué de végétaux microscopiques, qui se nourrissent donc en utilisant les sels minéraux présents dans l'eau: les sédiments apportent dans l'eau une grande quantité de sels minéraux, et ces sels jouent le rôle de fertilisant, d'engrais qui accélère la croissance et la reproduction des végétaux constituant le phytoplancton.

9-3 Les dépôts sédimentaires du golfe du Mexique sont favorables à la formation de kérogène conduisant au pétrole, car ils apportent en même temps des sédiments et causent une prolifération de phytoplanctons. Une fois mort, le phytoplancton va se déposer sur le fond en grande quantité, se trouvant recouvert par les sédiments qui vont le mettre à l'abri du dioxygène. Dans ces conditions, la biomasse de phytoplancton peut se transformer en kérogène qui sera à l'origine de pétrole. Il suffit que l'apport de sédiment soit réalisé pendant plusieurs millions d'années, ce qui est le cas pour les grands fleuves, comme le Mississippi, qui drainent une partie du continent américain depuis plusieurs dizaines de millions d'années. De plus, l'accumulation de sédiments sera à l'origine de l'enfoncement des fonds marins contenant le kérogène vers des profondeurs où la température et la pression seront favorables à la formation de Pétrole.

La région du golfe du Mexique contient effectivement de nombreux gisements pétroliers, c'est même la première région où les plates-formes de forage ont été développées. Il y a actuellement

3858 plates-formes de forage dans cette région (!) Cela ne va pas sans risques, à la fois pour les employés travaillant sur les plates formes, pour les compagnies qui les exploitent et pour l'environnement: un accident survenu le 20 avril 2010 sur la plate-forme pétrolière Deep water horizon a été à l'origine d'une gigantesque fuite de pétrole (marée noire) qui n'a pu être stoppée que le 19 septembre 2010.

Ci-dessous: carte de la répartition des 3858 plates-formes de forage pétrolières du golfe du Mexique - document NOAA.



10 - Le poumon vous dit-je, le poumon... (6 pts)

10-1 Il y a plusieurs raisons pour lesquelles la forêt amazonienne n'est pas le «poumon» de la planète. Une seule vous permettait de répondre à la question.

- La plus évidente est qu'un poumon est un organe qui absorbe le dioxygène et émet du dioxyde de carbone. Or, ceux qui prétendent que la forêt amazonienne est le poumon de la planète suggèrent l'effet inverse: l'absorption du CO_2 et la production d'O_2.
- Une forêt qui n'est plus en croissance produit autant de O_2 qu'elle en consomme: il ne faut pas oublier qu'en même temps qu'ils effectuent la photosynthèse, les végétaux respirent (souvenez-vous du chapitre 2: leurs cellules possèdent des mitochondries, elles réalisent le métabolisme de la respiration). Il en résulte que, pendant la nuit, les végétaux de l'Amazonie consomment le dioxygène qu'ils ont produit pendant le jour. Même s'ils ne consomment pas tout, le processus de pourrissement du bois mort, réalisé par des champignons et des bactéries qui respirent, eux, revient à équilibrer production et consommation de dioxygène. (c'est ainsi q'un champ de maïs, par exemple, produit bien plus de dioxygène pendant sa croissance, en incorpore bien plus de CO_2, que la même surface de forêt, fut elle amazonienne....)

10-2 Cette erreur sur le «rôle» de cette forêt ne diminue pas l'intérêt de protéger cet environnement, mais pour d'autres raisons que le dioxygène et le CO_2 atmosphériques.

En premier lieu, la forêt amazonienne constitue un environnement extrêmement riche et diversifié, abritant une biodiversité remarquable. La destruction irréfléchie de ce milieu entraînerai la disparition de nombre d'espèces de pliantes, d'animaux, de bactéries et de champignons. Outre l'intérêt éthique de cette démarche, il se pourrait que certaines espèces fabriquent des molécules utiles aux humains (c'est ainsi que la cyclosporine, par exemple; molécule ayant permis la généralisation des greffes en diminuant fortement les réactions des rejets, a été découverte chez un champignon microscopique, *Tolypocladium inflatum*, vivant dans le sol norvégien...).

Un autre intérêt de la protection de cette forêt est lié au climat local: la forêt amazonienne libère dans l'atmosphère d'énorme quantité de vapeur d'eau, puisée dans le sol par les racines, et influence donc fortement le climat local, la pluviosité et la formation de nuages.

Cet environnement se doit donc d'être protégé, totalement dans certains endroits (création de «réserves») et exploité de façon rationnelle et prudente dans d'autres secteurs (car il faut aussi pendre en compte les besoins et les aspirations des populations locales!).



La connaissance du fonctionnement de l'organisme permet de comprendre comment pratiquer un exercice physique dans des conditions compatibles avec la santé. Pour cela, nous allons étudier ici quelques aspects des effets physiologiques de l'effort et de ses mécanismes.

ci-dessus: le coeur (seul son sommet est visible) et les poumons (bronchioles en orange) sont deux des organes contribuant le plus aux adaptations de l'organisme à l'effort - photo Dr. Rosset/OSIRIX)

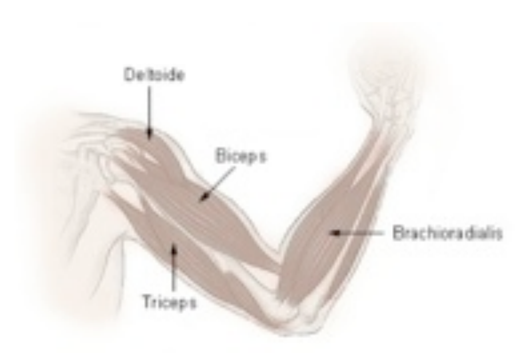
Muscles et articulations réalisent les mouvements.

Vous avez déjà observé (1) une articulation et appris le nom et la disposition des différents éléments dont elle est constituée. Mais comme le temps a pu effacer de votre remarquable mémoire quelques détails, revoyons un peu la disposition d'ensemble d'une articulation du genre de celles qui vous permettent de réaliser les mouvements de vos membres (2).

Pour cela, il vous suffit de vous rappeler de la dernière cuisse de poulet que vous avez mangée: sous la peau croustillante, vous avez trouvé différents muscles qui se séparent facilement les uns des autres (3). Vous avez remarqué que certains de ces muscles sont fermement attachés à l'os par un cordon blanc, plus ou moins caoutchouteux: un tendon. N'écoutant que votre gourmandise (4), vous avez séparé les os et constaté qu'ils sont retenus ensemble par un ensemble de «fils» immangeables, les ligaments. La surface des os en contact vous apparait très blanche, car recouverte de cartilage, et d'un aspect gras dû à la présence d'un liquide huileux au contact des cartilages, la synovie.

Une articulation est donc constituée par le contact de deux (ou plusieurs) os, glissant les uns sur les autres sur une surface recouverte de cartilage et lubrifiée par la synovie. Les os sont reliés entre eux par des ligaments qui encapsulent l'articulation. Mais comment les os sont-ils mis en mouvements ?

Vous savez que lorsqu'un muscle «squelettique» (5) se contracte, sa longueur diminue. Cela est dû à la contraction des longues cellules qui composent les muscles, ces dernières pouvant diminuer leur longueur.



Comme les muscles sont reliés aux os par des tendons, lorsqu'ils se contractent, ils tirent sur les tendons, qui transmettent cette traction à l'os qui se met alors en mouvement. En se contractant, un muscle ne peut que «tirer» sur un os d'une articulation. Pour un mouvement dans deux directions opposées, il faut donc deux muscles au minimum, tirant chacun dans un sens opposé (*sur le schéma ci-contre, les muscles biceps et triceps permettent les mouvements de flexion et d'extension de l'avant-bras en tirant chacun dans un sens opposé*).

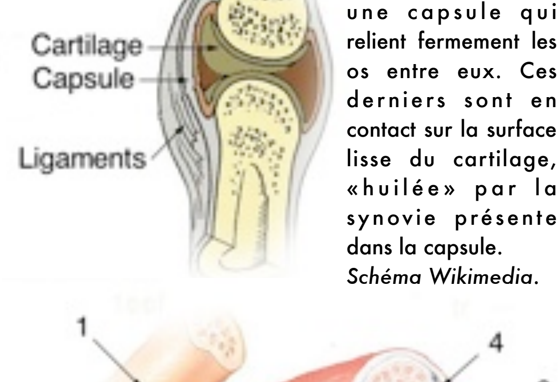
1 - Rappelez-vous . C'était à l'école primaire, à la lointaine époque où vous alliez à l'école vêtus de peaux de bêtes, gourdin à la main, en ayant peur de vous faire écraser par un mammouth...

2 - A proprement parler, une articulation est une jonction entre deux os, même lorsque ces derniers ne peuvent pas bouger, comme les différents os du crâne par exemple...

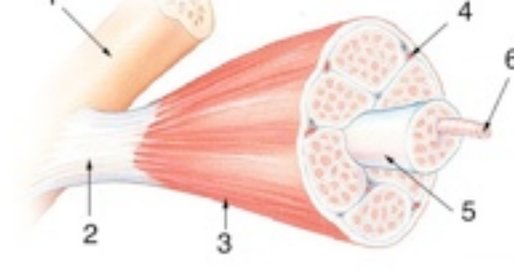
3 - Ce sont, en effet, les muscles des animaux que l'on désigne sous le nom de «viande» et qui constituent la partie la plus couramment consommée.

4 - Ou votre goût immodéré pour l'étude de l'anatomie. Tiens, une bonne excuse pour en réclamer un morceau supplémentaire à table...

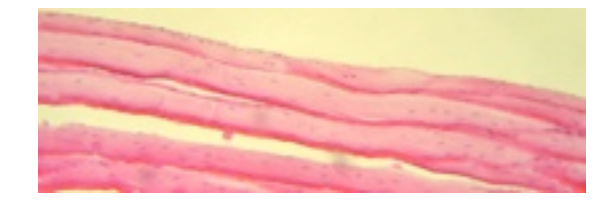
5 - ce qui ne veut pas dire qu'il est très maigre! Un muscle squelettique est simplement un muscle relié aux os du squelette (qui diffère donc des muscles de l'intestin, du coeur, etc.)



Organisation d'une articulation. Les ligaments forment une capsule qui relient fermement les os entre eux. Ces derniers sont en contact sur la surface lisse du cartilage, «huilée» par la synovie présente dans la capsule. *Schéma Wikimedia.*



Les os (1) sont reliés aux muscles (3) par des tendons (2). Les muscles sont constitués de cellules allongées (6) regroupées en faisceaux (5) entre lesquels de nombreux vaisseaux sanguins (4) permettent d'approvisionner l'organe en nutriments et dioxygène, et éliminent les déchets produits par son fonctionnement. *Schéma Wikimedia.*



Les cellules musculaires (colorées). Ces cellules sont de forme très allongées, et sont disposées parallèlement les unes aux autres pour constituer les muscles. Ces cellules ont la particularité de pouvoir se contracter, diminuant brusquement leur longueur de façon coordonnée. *Photo de l'auteur - x 600.*

Les muscles et les articulations: un système fragile qui doit être protégé.

Au moindre mouvement, nos articulations fonctionnent, nous assurant de pouvoir réaliser tous nos déplacements. Pourtant, il arrive que des accidents se produisent, et que les divers organes du mouvement soient endommagés. Ces accidents «musculo-articulaires» peuvent toucher le muscle, les tendons ou les ligaments (1).

Il est possible de retrouver la trace, dans la légende et l'histoire, d'un très ancien accident musculo-squelettique: la rupture du tendon d'Achille. Achille, justement, qui était-il ? (2). Ce héros grec légendaire de l'antiquité était un guerrier redoutable, Homère le décrit comme «Achille aux pieds agiles», ce qui signifie qu'il s'agissait d'un combattant particulièrement rapide. Au cours de la prise de la ville de Troie, ce guerrier redoutable est tué par une flèche lui transperçant la cheville (3). On peut supposer que la flèche, lancée par le héros troyen Paris, a coupé le tendon ... d'Achille (d'où ce nom!), empêchant alors le héros grec de courir et le laissant à la merci de ses ennemis. En effet, ce tendon, situé à l'arrière de la jambe *(Ci contre: le tendon d'Achille est le cordon blanc reliant le muscle soleus, à l'arrière de la jambe, à l'arrière de l'os du pied, le calcaneum - schéma Gray's anatomy)*, permet d'étendre violemment le pied lors de la marche et de la course.

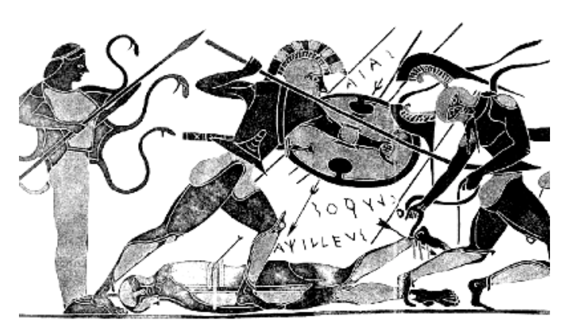


De nos jours, dans des circonstances plus paisibles, ce sont surtout les sportifs professionnels qui sont, à la suite d'une activité trop intense, victimes de la rupture de ce tendon. Ainsi, le 14 mars 2010, le footballeur David Beckham, s'est-il rompu le tendon d'Achille gauche à la fin d'un match (4). Heureusement, les tendons ne se rompent pas facilement, mais ils peuvent être le lieu de cassures partielles, causes de tendinites. Les autres atteintes des articulations sont résumées dans le tableau suivant:

Trouble	entorse, foulure	claquage, déchirure
organe touché	ligaments	muscles
description	Étirement léger (foulure) ou excessif (entorse), au pire déchirure.	déchirure d'une partie d'un muscle suite à un effort trop violent.
conséquences	Douleur, mouvement très difficile si déchirure	Douleur «en coup de poignard», mouvements impossibles

Outre une activité sportive trop intense ou mal préparée (par une absence d'échauffement, le plus souvent), les articulations peuvent être abimées si elles sont sollicitées au delà de leurs limites de résistance par des «sportifs» qui utilisent par ailleurs des substances (interdites...) qui augmentent la puissance de leurs muscles et leur résistance à la douleur: le prix a payer pour l'usage de produits dopants peut ainsi aller, de tendinites en entorses et déchirures, jusqu'à l'impossibilité d'utiliser une articulation sans que n'apparaissent des douleurs invalidantes et qu'il est très difficile de diminuer. L'activité physique n'est bénéfique pour l'organisme que si elle respecte le fonctionnement et les limites de ce même organisme.

1 - Les atteintes du cartilage, surtout liées à son vieillissement, sortent du cadre de notre étude et de votre programme.
2 - Celles et ceux qui ont étudié l'Iliade en sixième devraient avoir des souvenirs, sinon cette oeuvre majeure de notre civilisation est disponible librement, et de nombreux films pourront rapidement vous rafraîchir la mémoire...
3 - et non le talon, malgré l'expression «talon d'Achille» pour désigner un point faible. Cette confusion provient d'une erreur de traduction d'un mot grec en latin, puis en français, la cheville étant traduite en «talon» : grâce à cette précision indispensable,vous allez encore pouvoir passer pour un intello au cours des repas de famille!
4 - Match Milan AC vs Chievo Verone (1-0). Pareille mésaventure est arrivée le 19 octobre 2010 au gymnaste Benoit Caranobe, au Handballeur Bertrand Gille le 12 aout 2009 et au rugbymen Fabien Barcella, du Biarritz olympique, le 14 août 2010... Cet accident reste encore très (et même trop) fréquent: le sport professionnel semble bien trop solliciter l'organisme des joueurs...



La mort d'Achille (Ἀχιλλεύς = Akhilleús, en grec): le héros est au sol, la cheville traversée par une flèche ayant probablement rompu le tendon qui, depuis, porte son nom. *Fragment d'un vase grec / wikimedia*

Le contexte

La découverte de l'anatomie humaine

Le mode de vie rude des époques préhistorique entraînait bien des accidents touchant les membres et les articulations: les déboitement, foulures et autres entorses devaient être courantes, et les tentatives de soins sont donc aussi anciennes que les humains eux mêmes. Bien plus tard, l'histoire à retenu les noms de scientifiques remarquables qui, parfois au péril de leur vie, ont fait avancer la connaissance de l'organisation du corps humain.

- 400: Hippocrate rejette les superstition

Hippocrate, médecin grec considéré comme le père de cette science, sépare la médecine de la superstition: il est un des premiers à affirmer qu'il existe des causes naturelles aux maladies.

- 300: Hérophile et Erasistrate réalisent les premières dissections humaines

Ces deux médecins d'Alexandrie sont les seuls à réaliser des études directement sur le corps humain, qu'ils dissèquent. Hérophile est un des fondateurs de la démarche scientifique, mais rien ne reste hélas de son oeuvre médicale, alors qu'Erasistrate (surnommé «l'infaillible») a été un des premier a réaliser des expériences sur les animaux, réalisant d'importantes découvertes sur le système nerveux.

160: Galien, une terrible autorité

Vers l'an 160, Galien étudie l'anatomie, mais sur des animaux (d'où certaines erreurs). Médecin remarquable, il soignera quelques années les gladiateurs, utilisant leurs blessures pour augmenter ses connaissances. Il va écrire de nombreux traités qui vont faire autorité, erreurs comprises, pendant plus de mille ans.

1543: Vésale, Médecin révolutionnaire

André Vésale, qui a disséqué des cadavres humains, publie après plusieurs années de travaux un gigantesque livre (7 volumes de 700 pages...), contenant de nombreux dessins anatomiques réalisés par de talentueux artistes. Ces dessins sont les plus précis jamais réalisés à l'époque (ils sont considérés comme des oeuvres d'art). Ils permettent de corriger de nombreuses erreurs de Galien et constituent la première description cohérente et exacte de l'organisation du corps humain. Sur cette base va s'édifier la médecine moderne.

L'effort physique modifie le fonctionnement de l'organisme

Un effort demande un supplément d'énergie, fourni par la respiration.

Vous savez parfaitement, et depuis longtemps, que dès que vous faites un effort physique, le fonctionnement de votre organisme change: votre coeur se met à battre plus vite, votre respiration accélère, vous avez chaud, vous suez (1). Ces changements sont aisément mesurables (2): le tableau ci-dessous vous résume ces variations.

Grandeur mesurée	Au repos	Après un effort (30 flexions)
Rythme respiratoire (inspirations/min)	26	34
Rythme cardiaque (battements/min)	70	90

Faire un effort (3) nécessite une quantité d'énergie supplémentaire pour les différents organes réalisant cet effort (4). Or, nous avons vu dès le chapitre 2 (page 34) que l'énergie de l'organisme était fournie par un métabolisme bien précis, la respiration. Rappelons son bilan, pour le cas improbable ou vous l'auriez oublié:

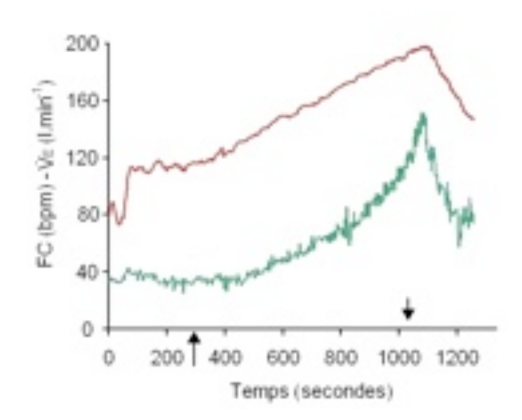
$$\text{glucose} + \text{dioxygène} \rightarrow \text{eau} + CO_2 + \text{énergie (5)}$$

Avec la logique implacable qui vous caractérise, vous avez du deviner au premier coup d'oeil que pour avoir, plus d'énergie, il faut donc assurer aux cellules un apport plus important en dioxygène et en nutriments (6). Pour cela, il est nécessaire:

-de faire entrer plus d'O_2 dans l'organisme, grâce à la ventilation (les mouvements respiratoires).

-de le distribuer ensuite plus rapidement, avec des nutriments, dans tout l'organisme: c'est alors la circulation sanguine qui elle aussi doit s'accélérer.

Ces processus s'observent facilement sur le graphique ci-contre:



la fréquence cardiaque (FC, graphe rouge) et la ventilation pulmonaire (graphe vert - nombre de litres d'air/min) sont mesurées en continu chez un sportif qui, après échauffement de 5 minutes (flèche vers le haut) réalise des efforts d'intensité croissante. On constate une augmentation régulière du rythme cardiaque ainsi que de la ventilation pulmonaire. Après la fin de l'exercice (flèche vers le bas), ces deux grandeurs diminuent conjointement.

Mais que se passe t'il lorsque vous faites un effort tellement rapide, ou si important, (comme soulever brusquement un objet lourd) que l'organisme n'a pas les moyens de s'adapter, car il ne va pas arriver à disposer d'assez de dioxygène ? Et bien, il utilise alors une autre source d'énergie, un autre métabolisme qui ne nécessite pas de dioxygène... (7) Mais cette situation étant toutefois moins courante, voyons donc ce qui se passe dans le cadre général où le dioxygène est disponible, ou plutôt lorsque les réactions de l'organisme le rendent disponible...

1 - Toutes manifestations déjà bien étudiées en cinquième... Oui, je sais
2 - par la prise du pouls et le comptage des mouvements respiratoires par unité de temps
3 - musculaire, mais même mentalement, des variations sont mesurables, bien que moins spectaculaires et hors de portée de matériel et des techniques scolaires
4 - l'énergie étant ce qui est nécessaire pour effectuer un travail, plus le travail augmente, plus la quantité d'énergie nécessaire à sa réalisation augmente aussi, c'est pour cela que vous êtes épuisé après avoir fait du sport, mais aussi après un effort intellectuel comme celui consistant à apprendre vos cours...
5 - ou ($C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6H_2O + 6CO_2$ + énergie) pour les intimes...
6 - il faut aussi éliminer les «sous produits» CO_2 et chaleur, ce qui n'est pas toujours une mince affaire!
7 - Le premier (ou la première) qui dit «fermentation» gagne une bière !

Pendant le cours

Questions d'élèves

Le stressé
Comment ça se fait qu'on puisse faire craquer les os des doigts ? Ca les abime ?
Ce qui «craque, ce sont des bulles microscopiques qui se forment entre les surfaces de cartilage d'une articulation, puis qui «implosent», qui s'écrasent sur elles même en faisant beaucoup de bruit. Comme ces bulles se forment dans le mince film de liquide gluant qui lubrifie les articulations, elle ne les abiment pas (mais ce bruit est ressenti par beaucoup comme très gênant!)

L'ami des chiffres
Il y a combien d'air qui passe dans nos poumons ?
Tout dépend de ton activité physique! On passe de 6L/min environ au repos à 15 L/min pour une activité physique modérée. Une activité sportive va augmenter cette ventilation des poumons qui atteint facilement 30 à 40 L/min dans la plupart des activités sportives. Un sport intensif ou des efforts de longue durée (course d'endurance, ou montée d'un col en vélo) peuvent amener dans les poumons une centaine de litres d'air à chaque minute, ce qui représente la ventilation de repos x 17 !

Le grand bleu
Comment ça se fait qu'on puisse nager sous l'eau un moment avec nos muscles alors que sous l'eau on ne respire pas ?
Tu fais une erreur, très commune, sur le sens du mot «respirer». Même lorsque tu nages un moment sous l'eau, tu respires, car respirer, c'est utiliser du dioxygène et des nutriments pour fabriquer de l'énergie, et nos cellules le font, tout le temps. Sous l'eau, tu ne ventile pas, c'est différent, tu n'as pas de mouvements respiratoires, mais les cellules de tes organes respirent encore en utilisant le dioxygène stocké dans tes poumons et dans ton sang. Évidemment, cela ne dure, au mieux, que quelques minutes... avant que divers «systèmes d'alarme» ne te forcent à remonter ventiler en surface...

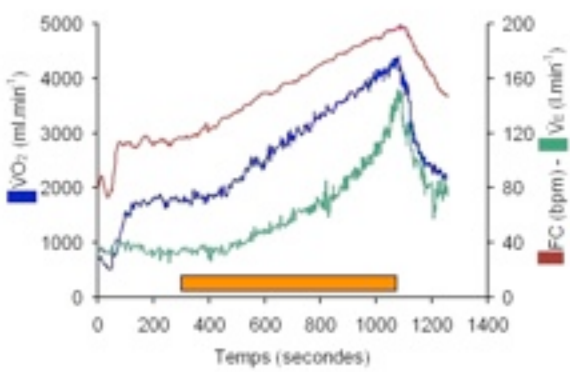
Le futur retraité
Quant on devient vieux, les articulation elle sont usées et on peut plus bouger !
Il existe en effet des maladies qui touchent les cartilages, déforment des articulations et rendent les mouvements douloureux. Toutefois, ces maladies ne sont pas des fatalités, et les articulations usées le sont souvent parce qu'elles ont été trop sollicitées, comme par exemple en devant soutenir, pour celles des membres inférieurs, un corps d'un poids trop élevé pendant plusieurs douzaines d'années, où en ayant toujours effectué le même mouvement.

Le sportif sur canapé
Pourquoi il faut toujours s'échauffer en sport ?
S'échauffer permet de préparer en douceur l'organisme à l'effort. Sa température augmente, les muscles sont plus élastiques et risquent moins de s'abimer, les articulations, mieux lubrifiées, sont plus souples, les mécanismes de régulation et de mise à disposition de nutriments et de dioxygène ont le temps de se mettre en place pour plus d'efficacité.

La respiration est modifiée par l'effort

Vous avez dû, en TP, effectuer des mesures de consommation d'oxygène au moyen d'expériences assistées par ordinateurs. Vous avez alors dû obtenir des données similaires à celles présentées par le graphique ci-contre, et qui établissent, fort logiquement:

- l'augmentation de la consommation de dioxygène au cours d'un effort physique. Cette consommation d'O_2, que l'on nomme VO_2, s'exprime en litres de dioxygène consommés par minutes. Souvent, pour permettre de comparer des individus différents, on rapporte ce chiffre à la masse de la personne, et on le compte alors «par kg de poids vif». La VO_2 s'exprime alors en l de dioxygène consommés par minute et par Kg d'organisme.
- Le lien direct entre VO_2 et intensité de l'exercice physique: plus l'effort est intense, plus VO_2 augmente. Dans le détail, pour augmenter la disponibilité de l'O_2, l'organisme peut jouer sur deux facteurs: le volume d'air inspiré, et la vitesse du renouvellement de l'air. Cela revient à augmenter la vitesse et l'amplitude des mouvements respiratoires (en clair: pendant un effort, vous respirez plus vite et plus fort). Au cours de chaque cycle de mouvement respiratoire (inspiration-expiration) le volume d'air qui est renouvelé dans les poumons porte un nom: c'est le volume courant. Le tableau ci-dessous résume les différents volumes pulmonaires.



Consommation de dioxygène pendant l'effort. Après échauffement, un sportif réalise des efforts d'intensité croissante période soulignée en orange). Outre l'augmentation régulière du rythme cardiaque et de la ventilation pulmonaire, la consommation de dioxygène (graphe bleu) s'élève régulièrement au cours de l'exercice. Plus l'effort est intense et plus VO_2 augmente, jusqu'à atteindre le maximum dont le sujet est capable.

Volume	Définition	Valeur moyenne
Volume courant	Volume d'air entrant (et sortant) des poumons au cours d'une respiration au repos.	0,5 l
Réserve inspiratoire	Volume d'air maximum que l'on peut faire entrer dans les poumons en les gonflant au maximum au cours d'une inspiration forcée (en plus du volume courant.)	2 l (femme) 3 l (homme)
Réserve expiratoire	Volume d'air maximal qui peut être rejeté des poumons, en plus du volume courant, lorsque l'on vide au maximum ses poumons (expiration forcée)	1,2 l
Volume résiduel	Volume d'air qui reste dans les poumons même lors d'une expiration forcée.	1,2 l

Proportions des différents volumes pulmonaires.
La colonne ci contre représente le volume total (environ 5 litres) des poumons.
La partie bleu foncée correspond au volume courant: nos poumons contiennent donc de vastes réserves par rapport à leur usage «au repos».
En bleu ciel, le volume de réserve à l'expiration, et en vert le volume de réserve à l'inspiration, qui est élevé. C'est qui vous permet, par exemple, de prendre une réserve d'air avant de plonger en apnée. Le volume représenté en gris est le volume résiduel)

Avec un vocabulaire de physicien, nous dirons que les efforts font augmenter la fréquence ventilatoire f (nombre d'inspirations par minutes) et le volume courant (1) V. Le produit f x V, fréquence x volume, caractérise un débit (voir encadré) que l'on appelle le débit ventilatoire, et qui augmente pendant un effort (vous faites entrer dans vos poumons davantage d'air pendant une minute en faisant un effort qu'au repos). Le VO_2 est également un débit: c'est le débit de dioxygène utilisé, consommé par l'organisme.

Il y a toutefois une limite à la consommation de dioxygène: elle est atteinte lorsque votre fréquence ventilatoire est maximale et que le volume maximum utilisable de vos poumons est ventilé (2). Cette consommation maximale d'O_2 est très logiquement nommée VO_2 max (3). Cette grandeur est très importante pour les sportifs qui effectuent de longs efforts, car elle leur donne une mesure de leurs performances maximales (4).

NOTION DE DEBIT

Un débit est une quantité (le plus souvent un volume) divisé par une unité de temps (ou multiplié par une fréquence, ce qui revient au même).

Lorsque vous ouvrez un robinet, une certaine quantité d'eau en sort en une minute: c'est le débit du robinet. Plus vous l'ouvrez, plus le débit augmente, jusqu'à atteindre le débit maximum, robinet grand ouvert (je sais, c'est élémentaire, je détaille pour les élèves qui ne possèdent pas votre brillante intelligence).

Au niveau pulmonaire, imaginez que vous faites entrer dans vos poumons 1l d'air/ min (débit D = 1 litre/ 1 minute = 1 l/min - simple, non ?), et que vos efforts considérables nécessitent de doubler ce débit. Vous avez trois type de solutions:

- soit vous inspirez deux fois plus d'air, à la même vitesse: D= 2/1= 2 l/min
- soit vous inspirez la même quantité d'air, mais deux fois plus vite, soit en 0,5 minutes au lieu de 1. Alors D=1/0,5=2 l/min.
- soit vous faites un peu des deux à la fois. C'est ce que fait, automatiquement, votre organisme, ce qui vous épargne de savants calculs!



1 - volume courant d'air, bien entendu (oui je sais, ce jeu de mots est atroce, promis, je n'en ferai plus).
2 - et accessoirement que votre sang contient une quantité maximale de dioxygène, distribué dans l'organisme à une vitesse maximale elle aussi, comme nous le verrons dans la suite de ce passionnant chapitre!
3 - Chez le sujet ayant servi à réaliser le graphe du haut de la page, VO_2max = 4,4 l/min (soit 55 ml/min/kg pour cet homme de 80 kg)
4 - L'entrainement peut permettre toutefois d'augmenter VO_2 max d'environ un tiers, soit 33 %.

La circulation sanguine est organisée en deux circuits

Bien entendu, comme vous avez déjà étudié la circulation sanguine en cinquième, il y a seulement trois ans, et que vous avez gardé précieusement vos cours de l'époque, il est inutile de rafraichir vos mémoires si perform... heu si, quand même ?

Il faut dire que la découverte de la circulation sanguine n'a pas été une mince affaire. Les médecins grecs et romains ne l'ayant pas découverte (1), leur autorité pendant tout le moyen âge, jointe à l'interdiction des dissections par l'église, empêcha toute découverte à ce sujet. Il fallut attendre 1242 pour que le médecin arabe Ibn Nafis découvre et publie à Damas l'existence d'une circulation sanguine au niveau des poumons. Il écrivit: «*Quand le sang a été raffiné dans cette cavité (ventricule droit), il est indispensable qu'il passe dans la cavité gauche (...). Mais il n'existe pas de passage direct entre ces dernières. L'épais septum du cœur n'était nullement perforé et ne comportait pas de pores visibles ainsi que le pensaient certains, ni de pores invisibles tels que l'imaginait Galien (...). Ce sang de la cavité droite du cœur devait circuler, dans la veine artérieuse (notre artère pulmonaire), vers les poumons. Il se propageait ensuite dans la substance de cet organe où il se mêlait à l'air. Afin que sa partie la plus fine soit purifiée et passe dans l'artère veineuse (nos veines pulmonaires) pour arriver dans la cavité gauche du cœur et y forme l'esprit vital*».

Malheureusement, Ibn Nafis reste inconnu en Europe pendant plus de 250 ans, et c'est un des élèves de l'anatomiste Vésale (2), Matteo Realdo Colombo, qui le remplace comme professeur de médecine, qui publie en 1558 la découverte de la circulation sanguine (3) au niveau des poumons. Un élève de Colombo, venu d'Angleterre, William Harvey, va montrer l'existence de la «grande» circulation», celle qui alimente tous les organes sauf les poumons. Harvey parle de ses découvertes dès 1616 et les rend publiques en 1628 (4).

Pour découvrir la circulation, Harvey s'est basé sur:

- une observation: l'existence d'une sortie du sang du ventricule gauche du coeur lors de la contraction, ou systole, de celui-ci. Il a vérifié cette observation mentionnée la première fois par Jean Fernel (un scientifique français multicarte, à la fois astronome, mathématicien et médecin).
- un calcul montrant que le coeur, en une heure, propulsait dans l'organisme 259 Kg de sang. Comme il était impossible qu'une telle masse de sang ait été fabriquée par le foie (comme on le croyait à l'époque), il fallait bien qu'en fait ce soit toujours «le même» sang qui «tourne en rond» et puisse donc retourner vers le coeur.
- une expérience: avec un garrot qu'il desserre progressivement sur le bras d'un «volontaire», il montre que l'on peut observer la progression du sang vers le coeur dans les veines superficielles. Harvey ne peut toutefois pas montrer comment le sang passe des artérioles aux veinules: les capillaires sont invisibles à l'oeil nu et, à son époque, la microscopie est dans l'enfance. C'est en 1661 que le médecin italien Marcello Malpighi (5) va observer au microscope le sang circuler dans de fins tuyaux invisibles à l'oeil nu à la surface d'un poumon et d'une vessie de grenouille.

À la suite de ces découvertes, le parcours du coeur est bien établi : il quitte le coeur par des artères qui se divisent en artérioles puis en capillaires dans les organes, ces capillaires formant ensuite des veinules, puis des veines qui ramènent le sang vers le coeur.

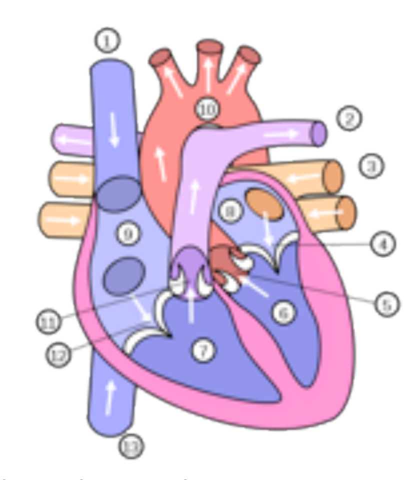
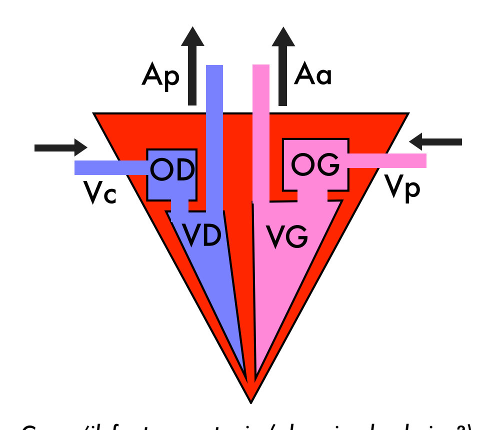


Schéma du coeur humain: 1 - veine cave supérieure, 2 - artère pulmonaire, 3 - Veines pulmonaires, 4 & 12 - Valves auriculo-ventriculaires, 5 - valve aortique, 6 ventricule gauche, 7 - ventricule droit, 8 - oreillette gauche, 9 - oreillette droite, 10 - artère Aorte, 11 - valve pulmonaire, 13 - veine cave inférieure. Schéma MesserWoland, wikimedia.



Ce qu'il faut en retenir (plus simple, hein ?): VC veine cave, Ap artère pulmonaire, Aa artère aorte, Vp Veines pulmonaires, VG ventricule gauche, VD ventricule droit, OG oreillette gauche, OD oreillette droite. Schéma de l'auteur.

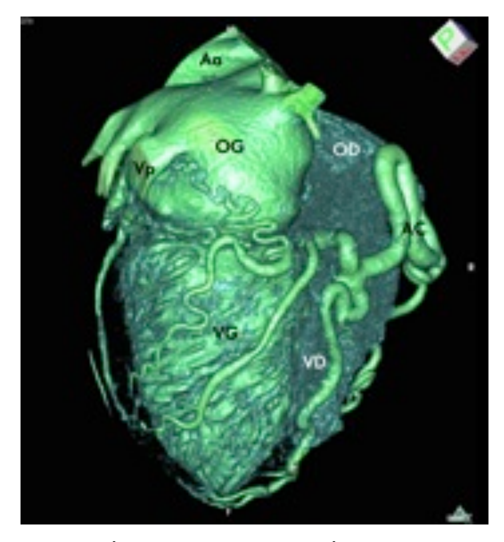


Image des cavités internes d'un vrai coeur humain: Le traitement informatique a permis de ne garder visible ici que le volume des oreillettes, ventricules et vaisseaux. Notez la différence de volume entre VG, qui envoie le sang partout, et VD qui ne le propulse que vers les poumons, tout proches. Les vaisseaux tortueux sont les artères coronaires (AC) qui alimentent le coeur lui-même. Document Dr Rosset/OSIRIX

---

1 - En partie par manque de dissections, ou à cause de mauvaises conditions d'observations, de l'absence de microscopie et de l'autorité excessive des certains maîtres jamais remise en cause. La conception de Galien était que le sang se fabriquait dans le foie à partir des aliments, circulait dans les veines pour aller dans les poumons se mélanger à de l'air et dans le coeur où il se réchauffait avant d'être consommé par les organes et d'être éliminé sous forme de transpiration...

2 - Voir encadré p. 91.

3 - C'est un élève de Colombo, Andrea Cesalpino, qui le premier utilisera le mot de «circulation» pour le parcours du sang dans l'organisme.

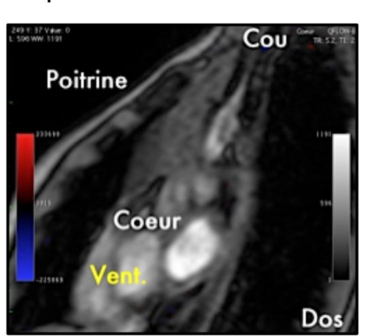
4 - Plusieurs scientifiques anglais contestent qu'Harvey ait été le premier à découvrir la circulation, mais ils se basent sur un témoignage, sans preuve. Les idées d'Harvey ont été longues à s'imposer, le poids de la tradition étant écrasant: en 1673, Molière se moquera de ces médecins incompétents incapables d'accepter les découvertes de leur temps avec le personnage de Diafoirus dans le malade imaginaire.

5 - Malpighi, mal vu parce qu'il conteste les anciennes idées, devra s'exiler à Messine. Son livre De pulmonibus observationes anatomicae (observations anatomiques du poumon) est le premier livre scientifique «moderne», où il donne ses méthodes pour permettre à d'autres de refaire ses expériences et de les critiquer. Il a fondé l'étude des organes au microscope, que l'on appelle l'histologie.

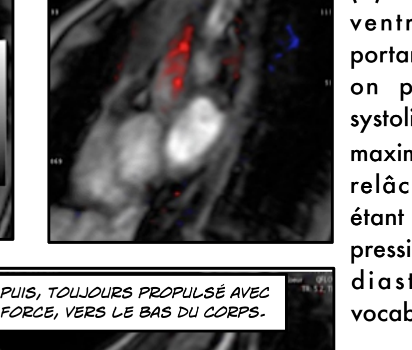
La circulation sanguine s'organise donc selon deux circuits qui sont disposés «en série» (si on fait une analogie avec les circuits électriques): un circuit pulmonaire, qui élimine le CO_2 et recharge le sang en O_2, et un circuit «général» qui distribue à tous les organes le sang hématosé (enrichit en O_2). Cette circulation générale s'effectue, elle, en parallèle (voir schéma): les différents organes reçoivent le sang via des «dérivations» des plus grosses artères, les échanges respiratoires et nutritionnels se faisant au niveau des capillaires contenus dans les différents organes. Les veinules, puis les veines collectent ensuite le sang et le ramènent au coeur.

Cette organisation anatomique en deux circuits permet aux différents organes, dont les muscles, de recevoir un apport de dioxygène important, car il n'y a jamais de mélange (1) entre le sang hématosé (propulsé partout dans le corps, sauf dans les poumons, par le puissant côté gauche du coeur) et le sang non hématosé (riche en CO_2, collecté et renvoyé vers les poumons par le côté droit du coeur).

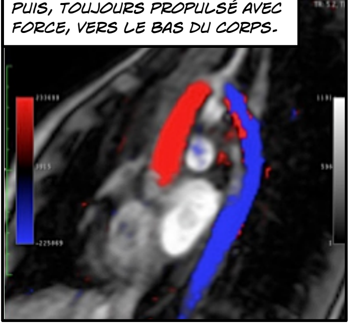
Comme la circulation sanguine s'effectue dans le volume limité des cavités cardiaques et des vaisseaux, que ce volume est entièrement rempli de liquide (2) et que les parois du coeur (3) appuient fortement dessus, le sang circule sous pression. Cette pression sanguine le propulse dans tout l'organisme, lui permettant de parcourir plusieurs mètres (4) et de revenir au coeur. Au niveau des artères, cette pression, dite artérielle, oscille entre deux valeurs : un maximum lorsque les ventricules se contractent, comprimant fortement le volume sanguin qu'ils contiennent avant de l'expulser, et un minimum lorsque les ventricules se remplissent (5). La contraction des ventricules du coeur portant le nom de systole, on parle de pression systolique pour la valeur maximale. Inversement, le relâchement du coeur étant appelé diastole, la pression minimale est dite diastolique (que de vocabulaire!).

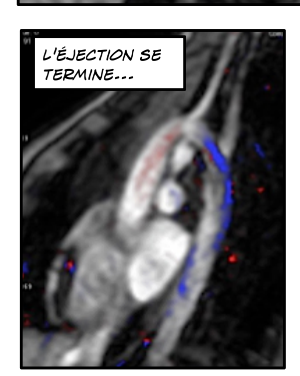


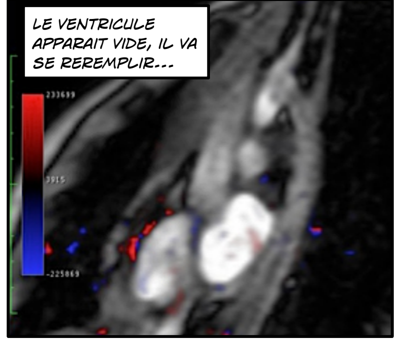






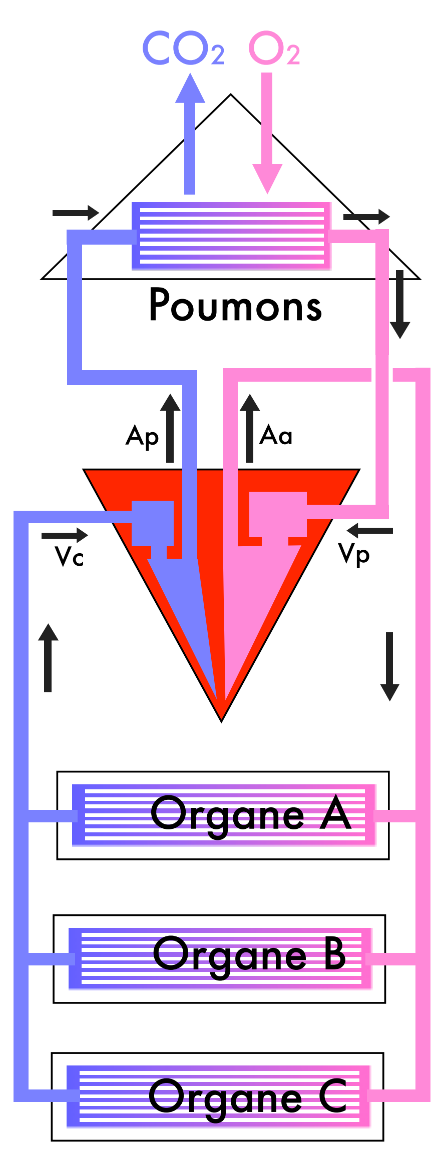






Au cours d'une systole, le volume de sang propulsé par le coeur (*Ci contre, éjection systolique avec vitesse du sang maximale en rouge, minimale en bleu - photos Dr Rosset/Osirix*) dépend à la fois de la force des contractions et du volume du ventricule.

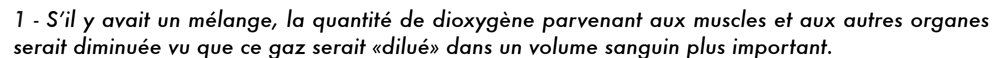
Au fur et à mesure que le sang s'éloigne du coeur, sa pression diminue (voir tableau) mais des variations entre maximum et minimum subsistent jusqu'à son retour dans la veine cave.



Circulation sanguine. Deux circuits se succèdent: le circuit pulmonaire, la sang quittant le coeur «droit» par les artères pulmonaires (Ap) et y revenant par les veines pulmonaires (Vp) après s'être débarrassé de son CO2 et enrichit en O2; et le circuit général où, entre l'artère aorte (Aa) et les veines caves (Vc), tous les organes sont alimentés en parallèle, les échanges s'effectuant au niveau des capillaires qu'ils contiennent. Schéma de l'auteur.

Vaisseau sanguin	P. maximale (systole)	P. minimale (diastole)
Artère aorte	100	100
Artères	100	40
Artérioles	40	30
Capillaires	30	12
Veinules	12	10
Veines	10	5
Veine Cave	2	2

Dans le circuit sanguin, la pression (exprimée ici en mm de Hg), systolique ou diastolique, chute au fur et à mesure que l'on s'éloigne des ventricules qui l'entretiennent.

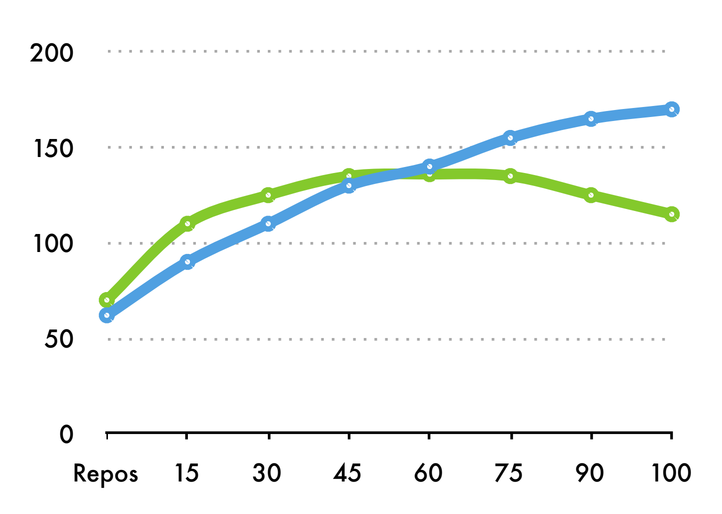


1 - S'il y avait un mélange, la quantité de dioxygène parvenant aux muscles et aux autres organes serait diminuée vu que ce gaz serait «dilué» dans un volume sanguin plus important.
2 - La moindre bulle de gaz dans le sang peut causer de graves problèmes, en allant boucher des vaisseaux sanguins, où en rendant moins efficaces les contractions du coeur qui vont comprimer du gaz au lieu de mettre le sang sous pression.
3 - Ainsi que celles des plus grosses artères.
4 - De l'aorte à vos pieds, et retour. Et je ne vous parle pas du cas de la girafe, qui possède un coeur énorme... cf exercice supplémentaire en ligne.
5 - Ce qui explique les deux chiffres de «la tension» dont vos (arrière ?) grands parents ont du parler, car c'est une grandeur a surveiller lors du vieillissement. Le premier chiffre est la pression maxi, le second la pression minimale.

La circulation sanguine est modifiée pendant un effort

Au cours d'un effort, les besoins en dioxygène et en nutriments des muscles sont accrus, ainsi que la nécessité d'une élimination plus intense du CO_2 produit dans le muscle. Pour cela, l'irrigation sanguine musculaire est augmentée. Le fonctionnement du coeur permet ce meilleur approvisionnement des muscles en augmentant:

- la fréquence cardiaque, celle-ci passant de 70 contractions/min environ au repos à 180 lors d'un exercice intense (voir ci-dessous).



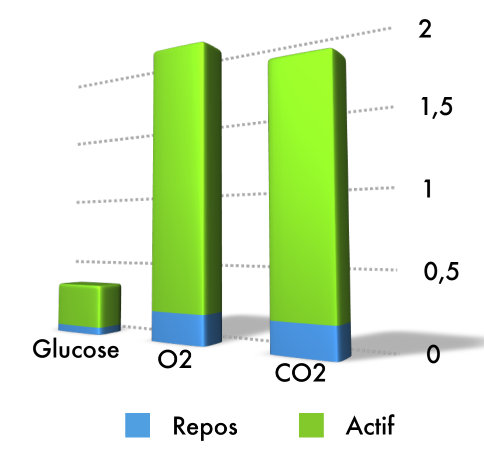
Évolution de la fréquence cardiaque (en bleu, en contractions/min) et du volume d'éjection systolique (en vert, en mL/contraction) pendant un effort d'intensité croissante (unités indicatives). Alors que la fréquence cardiaque s'élève et se stabilise à un maximum (d'une valeur voisine de 220 - votre âge), le volume d'éjection systolique augmente puis se stabilise entre 100 et 150 mL.

- le volume d'éjection systolique, voisin de 75 ml au repos, peut doubler chez un sportif en plein effort (voir ci-dessus). Plusieurs facteurs sont à l'origine de cette augmentation. Au niveau cardiaque, les ventricules peuvent se remplir davantage, se contracter plus fortement et plus longtemps.

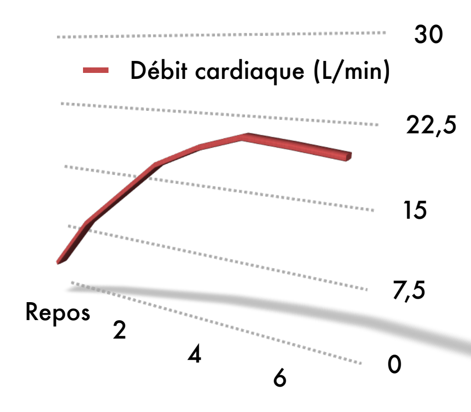
Le coeur battant plus rapidement et propulsant à chaque fois des volumes plus importants, c'est donc le débit cardiaque qui augmente pendant l'effort (voir ci-contre). Ainsi, ce débit peut varier entre 5 L/min au repos et 30 L/min chez un athlète bien entraîné en plein effort. Cette augmentation de débit se distribue ensuite de façon inégale dans tout l'organisme les muscles actifs étant privilégiés et recevants donc plus de sang (1). Grâce à l'augmentation de débit cardiaque, les muscles, pendant une même durée, reçoivent davantage d'O_2 et de nutriments, et peuvent éliminer plus de CO_2.

La consommation de nutriments par les muscles dépend également de l'effort fourni: plus celui-ci est intense, ou de longue durée, et plus la quantité de nutriments consommée sera importante. Ces nutriments proviennent des «réserves» de l'organisme, situées dans le foie, mais surtout dans les graisses. La pratique régulière d'une activité physique permet donc à l'organisme d'utiliser régulièrement ses réserves, ce qui diminue le risque de devenir obèse (2). De plus, on ne doit pas oublier que le coeur est un muscle: le faire travailler modérément, sans excès, lui permet de se développer, de se renforcer, ce qui contribue à maintenir un bon état général de tout l'organisme. Inversement, la pratique d'un exercice physique, ou d'un sport (3), nécessite d'avoir un coeur et des vaisseaux sanguins en bon état, mais aussi de posséder des poumons sains. On doit alors rappeler que le plus grand danger pour ces organes est représenté par la détestable habitude consistant à fumer du tabac...

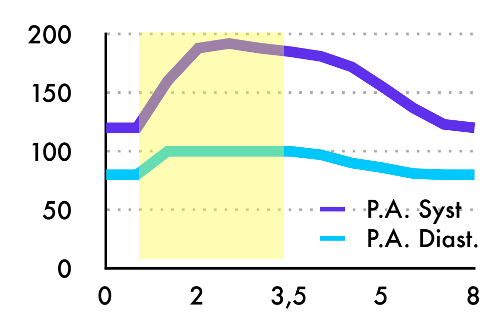
Pendant un effort, le coeur appuie davantage sur la masse liquide qu'il propulse, ce qui augmente, le temps de l'effort, la pression artérielle. Nous allons voir que c'est justement le coeur qui, même au repos, participe aux mécanismes qui maintiennent cette pression dans d'étroites limites.



Activité des muscles au repos ou pendant un effort.
Même lors d'un effort modeste (une petite course), il apparait clairement que les besoins des muscles sont très fortement augmentés. La consommation de O2 et la production de CO2 sont donnés en L/min, la consommation de glucose en g/min, le tout pour une même quantité de muscle.



Au cours d'un effort d'intensité croissante (unités indicatives), le débit cardiaque s'élève pour se stabiliser à une valeur maximale. Cette élévation résulte de l'augmentation conjointe de la fréquence cardiaque et du volume d'éjection systolique.



Pendant un effort (période surlignée de jaune) de 2 minutes et demi, la pression artérielle systolique s'élève fortement et rapidement, alors que la pression artérielle minimale (diastolique) varie moins, n'augmentant que modérément.

---

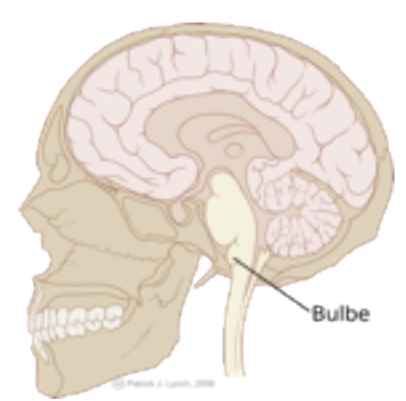
1 - Ainsi, pendant une course, le débit sanguin dans l'artère qui alimente les muscles des membres inférieurs est multiplié par 4, passant de 200 à environ 800 ml/min.
2 - Il ne faut donc pas croire que «faire du sport fait maigrir» lorsque l'on a déjà un problème d'obésité. En réalité, on devrait plutôt dire que «faire du sport empêche (dans une certaine mesure!) de grossir».
3 - Une activité physique n'a pas à être «codifiée» et réglementée comme un sport: le simple fait de marcher, de faire du vélo, de jardiner ou de s'amuser à la piscine, sans idée de performance ni de compétition, constitue une activité bénéfique pour le coeur et les vaisseaux sanguins, et ce, à tout âge!

Une boucle réflexe contrôlant la fréquence cardiaque constitue un des mécanismes de contrôle automatique de la pression artérielle.

Le coeur est un muscle au fonctionnement automatique, mais il est relié à des nerfs qui influent sur sa vitesse de contraction.

La pression artérielle dépend du débit cardiaque et donc, indirectement, de la vitesse à laquelle le coeur bat (la fréquence cardiaque). Hors, contrairement aux autres muscles, le coeur isolé de l'organisme continue a se contracter quelques minutes (1). De plus, les contractions du coeur échappent à toute volonté. C'est donc un muscle bien étrange, différent des muscles du squelette dont la contraction est commandée par un nerf (voir encadré).

Il y a 2400 ans, à Alexandrie, les médecins Hérophile de Chalcédoine et Erasistrate de Ceos ont été les premiers a étudier le système nerveux humain, découvrant et répertoriant les différents nerfs (2). Ils ne trouvèrent cependant aucun nerf qui soit directement relié au coeur. Toutefois, vers l'an 1700, le médecin Jacques Winslow décrit un nerf partant du cerveau et qui se divise dans le thorax en de multiples branches, dont une s'achève au niveau de l'oreillette droite: c'est le nerf «vague», ou parasympathique (3). Il identifie ou précise le tracé d'autres nerfs dont un est relié au coeur et l'autre à l'artère aorte, tout près de ce dernier. Ces différents nerfs cardiaques aboutissent tous à une région précise à la base du cerveau, le bulbe rachidien *(ci-contre: emplacement du bulbe rachidien. - vue 3D - Schéma* Patrick J. Lynch & C. Carl Jaffe.)

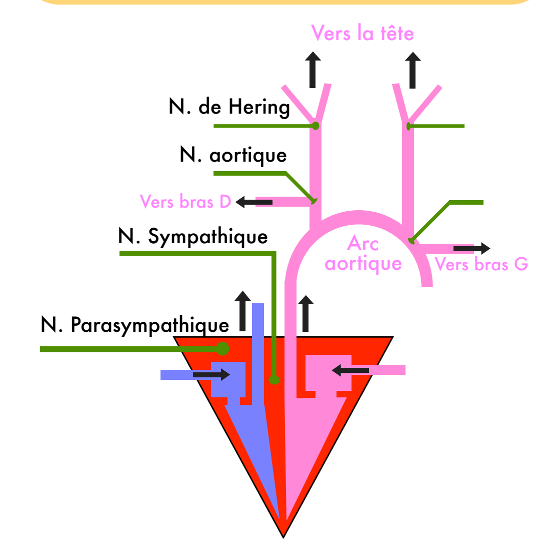


A cette époque, tous les médecins savent qu'un muscle squelettique est paralysé si on coupe les nerfs qui y sont reliés. Ils vont alors réaliser diverses expériences en coupant les nerfs reliés au coeur, afin d'étudier leurs effets en les supprimant. Il est également possible de «stimuler» un nerf au moyen d'un courant électrique, puisque les chercheurs (voir encadré) ont montré à cette époque que ce sont des signaux électriques qui parcourent les nerfs. Les premiers à obtenir un résultat remarquable, et qui va lancer la recherche sur le rôle des différents nerfs du coeur, sont, en 1845, les frères Weber (4) qui, en stimulant le nerf parasympathique, parviennent à stopper le coeur (5). Inversement, si on coupe ces nerfs au plus près du coeur, ce dernier accélère ses battements: visiblement, le nerf vague freine en permanence la vitesse des contractions cardiaques!

Ce type d'expérience va être mené jusque dans les années 1920, lorsque le physiologiste H.E. Hering parvient à expliquer un réflexe étonnant: si on comprime l'artère carotide (qui conduit le sang vers la tête), la vitesse du coeur ralentit (et la pression artérielle baisse). Il montre que ce réflexe implique un nerf (depuis nommé nerf de Héring) relié à un embranchement des artères carotides (on appelle cet embranchement un «sinus»). Nous allons voir comment, entre les frères Weber et Hering, une suite d'expérience a permis d'établir comment la fréquence cardiaque, et donc la pression artérielle, est réglée de façon automatique par un ensemble de mécanismes servant soit de frein, soit d'accélérateur des contractions cardiaques.

La découverte des rapports entre nerfs et contraction des muscles

En octobre 1745, Von Kleist découvre que l'on peut «stocker», «condenser» de l'électricité dans un appareil en forme de bouteille. Ceux qui touchent cette bouteille subissent de violents chocs (très amusants, les nobles en raffolent!) et leurs muscles se contractent. En 1756, Caldani étudie l'effet des décharges électriques sur le coeur et d'autres muscles, il montre que les grenouilles sont les animaux les plus avantageux pour ces études.
Cherchant à éclaircir le rapport entre électricité et muscles, L. Galvani découvre en 1791 que les muscles se contractent lorsque les nerfs auxquels ils sont reliés reçoivent une décharge électrique. Il pense que l'électricité est produite par les organes eux-mêmes, dont le cerveau. Il s'oppose ainsi à Volta qui, pour démontrer que l'électricité n'est pas d'origine animale, inventera la pile électrique.
Visiblement ce que l'on appelle à l'époque le «fluide nerveux» et le «fluide électrique» se ressemblent beaucoup. Cela conduira, au début des années 1800, à nombre d'expériences délirantes et macabres. Ainsi vers 1830, le Dr Ure, à Glascow, applique des décharges électriques dans les nerfs et la moelle épinière d'un cadavre humain frais, reproduisant les expressions du visage, et faisant se contracter les muscles respiratoires. Ce genre d'expérience a inspiré Marie Shelley pour son chef-d'oeuvre paru en 1818, Frankenstein ou le Prométhée moderne.
En 1840, C. Matteucci identifie des courants électriques produits par les muscles qui se contractent. En tentant de refaire ces expériences, Emil du Bois-Reymond, vers 1850, va détecter le passage d'un courant électrique dans les nerfs reliés aux muscles. Son élève Julius Bernstein étudiera les courants électriques dans les nerfs, établissant que les «messages» nerveux sont bien des suites de signaux électriques.



Les nerfs du coeur. On peut facilement les diviser en deux groupes: les nerfs sympathiques et parasympathiques sont directement reliés au muscle cardiaque, alors que les nerfs aortiques (aussi appelé nerfs de Cyon) et les nerfs de Hering sont, eux, reliés aux grosses artères. Tous ces nerfs sont présents en double exemplaire, mais pour simplifier seuls les nerfs aortiques et de Hering sont ici représentées par paires.

1 - Ce qui est visible dès que l'on tue un animal et qu'on le prépare immédiatement, cette constatation a donc pu être faite dès la préhistoire!
2 - Malheureusement, presque rien ne subsista de leurs travaux après les deux destructions de la bibliothèque d'Alexandrie.
3 - «Vague» à cause de ses nombreuses ramifications dans le thorax et l'abdomen, expliquant pourquoi sa description restait bien... vague! C'est aussi le nerf crânien n°10, souvent appelé aussi nerf X en anatomie, mais cette «célébrité» porte aussi les noms de nerf pneumogastrique, nerf cardio-pneumo-entérique et enfin nerf parasympathique, qui est le nom que votre programme nous demande d'utiliser.
4 - Ernst Weber était un médecin allemand célèbre, ayant travaillé avec un de ses frères, physicien, sur la circulation sanguine. C'est à l'âge de 71 ans qu'il quitte ses postes universitaires et travaille avec son plus jeune frère Eduard Friedrich, sur le nerf vague...
5 - Toutes ces expériences ont été réalisées sur des animaux, principalement des lapins, mais aussi d'autres animaux de ferme.

La fréquence cardiaque, dont dépend la pression artérielle, est contrôlée par une «boucle» nerveuse au fonctionnement automatique.

Les expériences de coupure et de stimulation des nerfs parasympathiques et sympathiques (attention, une fois le nerf coupé, on peut stimuler les deux bouts: celui situé côté coeur et celui situé côté bulbe) donnent les résultats résumés dans le tableau suivant:

Nerf	Parasympathique	Sympathique	conclusions
Coupure	augmentation de la fréquence cardiaque (et de la P.A.)	aucun effet	On dirait que le nerf paraS freine en permanence le rythme cardiaque.
stimulation côté coeur	diminution de la fréquence cardiaque (et de la P.A.)	augmentation de la fréquence cardiaque (et de la P.A.)	On confirme que les messages nerveux du nerf ParaS agissent comme un frein du rythme cardiaque. Par contre, les messages nerveux du nerf sympathique agissent comme un accélérateur de ce rythme.
stimulation côté bulbe	aucun effet	aucun effet	les messages nerveux, dans ces nerfs, ne remontent pas vers le bulbe (où s'ils le font, cela ne semble pas avoir une influence particulière)

Ces résultats permettent de construire la représentation, le «modèle» n°1: la pression artérielle est limitée en permanence par l'action du nerf parasympathique, et peut être augmentée par les messages nerveux du nerf sympathique. Nous avons donc un frein et un accélérateur, mais qu'est-ce qui les commande ?

Voyons les résultats du même type d'expériences que précédemment (1), mais portant sur les nerfs reliés aux grosses artères:

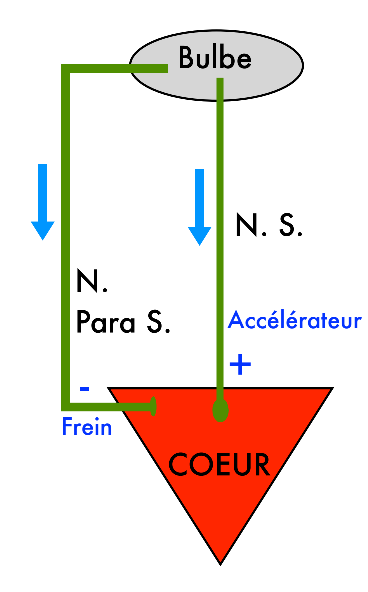
Nerf	Nerf de Hering	Nerf aortique	conclusions
Coupure	Augmentation de la fréquence cardiaque (et de la pression artérielle).		On dirait que les 2 nerfs freinent en permanence le rythme cardiaque.
stimulation côté coeur	aucun effet		Ces nerfs n'envoient aucun message nerveux vers le coeur.
stimulation côté bulbe	diminution de la fréquence cardiaque (et de la pression artérielle)		Les messages nerveux, dans ces nerfs remontent vers le bulbe et provoquent à partir de là une baisse de la pression artérielle par ralentissement du coeur.

Ces résultats montrent que des messages nerveux sont envoyés des artères vers le bulbe, et que leur effet habituel est de diminuer la pression artérielle en ralentissant le rythme cardiaque. Cela implique qu'il existe dans les artères des récepteurs capables de fabriquer les messages nerveux lorsqu'ils sont stimulés (représentation n°2). A quoi réagissent ces récepteurs ? Pour le savoir, il faut nous intéresser à une nouvelle série d'expériences portant sur ces régions des artères.

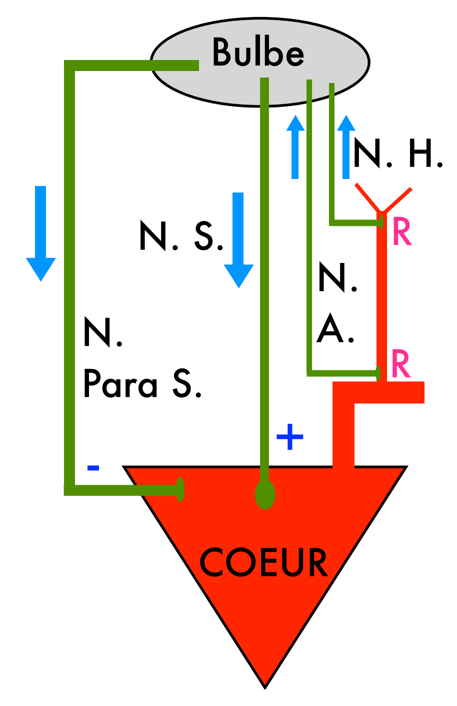
Le médecin J.N. Czermak, spécialiste de la gorge, avait affirmé en 1879 qu'en appuyant sur le passage de son nerf parasympathique, au niveau du cou, il avait ralenti son coeur et abaissé sa pression artérielle. En 1923, le physiologiste H.E. Hering montre que Czermak s'est trompé: il n'a pas appuyé sur son nerf parasympathique, mais sur une zone très proche, là où l'artère carotide se divise en deux branches, et que l'on appelle le sinus carotidien. Même une légère pression sur ce sinus provoque une baisse de la pression artérielle ainsi qu'une diminution du rythme cardiaque. Cette région correspond au récepteur relié au nerf de Hering (justement!). Le physiologiste va étudier le sinus carotidien dans une série d'expériences en 1924.

1 - *Ces expériences ont été réalisées, sur le nerf aortique de lapins, en 1866, par une équipe de deux physiologistes, Ila Faadevitch Tsion (souvent appelé Cyon, car il vécut en France et devint... ministre des finances!) et Carl Ludwig. Le nerf aortique sur lequel ils ont travaillé est d'ailleurs souvent appelé nerf de Ludwig-Cyon.*

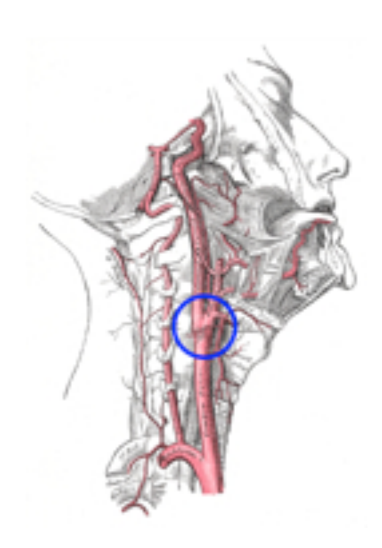
VOYEZ-VOUS MÊME :
Grâce à une excellente application web réalisée par le Pr. Consentino, de l'académie de Nice, vous pouvez simuler vous même toutes les expériences de section et de stimulation des nerfs cardiaques, en mesurer les résultats et en étudier les effets sur la pression artérielle.
C'est par ici!



Modèle 1: le coeur reçoit, en provenance du bulbe, des messages nerveux qui le freinent en permanence par le nerf parasympathique. Il peut aussi accélérer grâce à des messages nerveux transmis par le nerf sympathique.



Modèle 2: le coeur reçoit des messages nerveux bulbaires qui le freinent où l'accélèrent, mais le bulbe reçoit des messages nerveux en provenance des grosses artères (aorte et carotide), message fabriqués par des récepteurs (R)



Il est en effet beaucoup plus facile d'étudier les récepteurs du sinus carotidien, situé dans le cou (*ci-contre : emplacement du sinus carotidien. Schéma Gray's anatomy.*), que ceux de l'aorte, profondément enfouis dans le thorax. Hering et son équipe (1) vont utiliser pour leurs expériences des chiens (2) sur lesquels ils obtiennent les résultats suivants:

A. *Une stimulation électrique du sinus carotidien provoque les mêmes effets que la stimulation du nerf de Hering côté bulbe (diminution de la fréquence cardiaque)*: il y donc bien continuité entre le sinus et le nerf, et fabrication et transmission de message nerveux depuis le sinus vers le nerf. Le sinus est bien un récepteur communiquant avec le bulbe grâce au nerf de Hering.

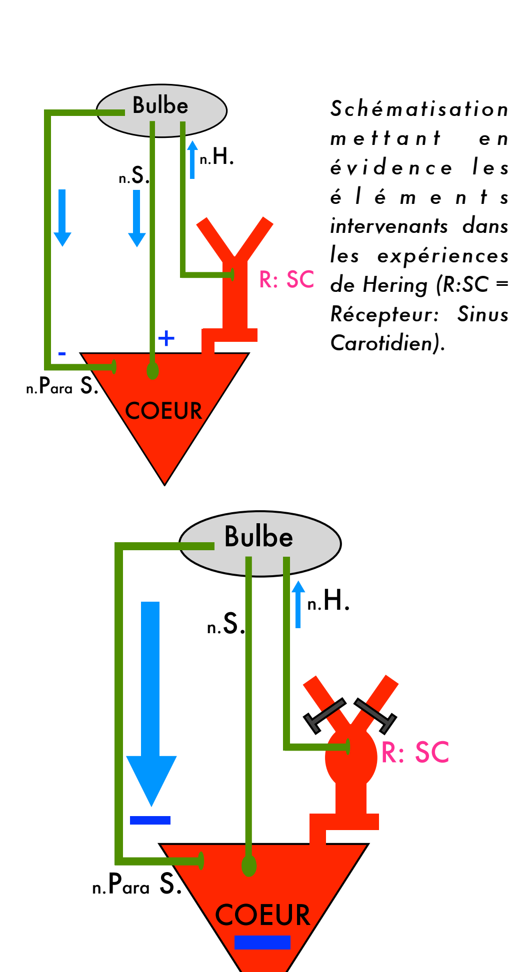
B. *Exercer une pression sur le sinus de l'extérieur, avec une pince, provoque aussi une baisse de la fréquence cardiaque*: le sinus carotidien est donc sensible à la pression. On dit qu'il contient des barorécepteurs (3).

C. *Augmenter la pression à l'intérieur du sinus par une pince placée au dessus de lui provoque une diminution de la fréquence cardiaque (et donc de la pression artérielle)*: les barorécepteurs du sinus carotidien sont sensibles à la variation de la pression artérielle.

D. *Diminuer la pression artérielle dans le sinus en plaçant des pinces au-dessous de ce dernier provoque une augmentation de la fréquence cardiaque et de la pression artérielle*: les barorécepteurs sont sensibles à toute variation de la pression sanguine et déclenchent une réaction visant à contrebalancer cette variation

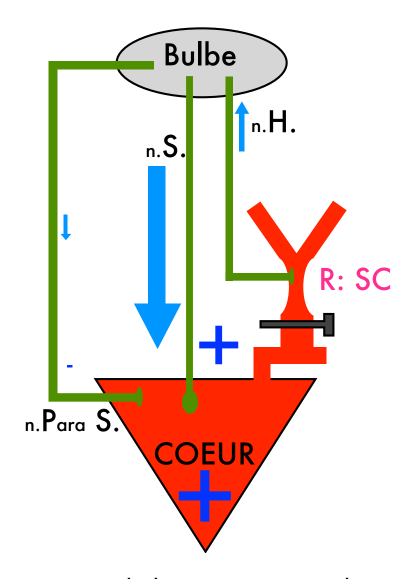
Il existe donc un système qui réagit aux variations de la pression artérielle en maintenant la valeur de cette dernière au moyen d'un ensemble constitué par:

- des barorécepteurs situés dans l'aorte et le sinus carotidien, qui détectent les changements de pression artérielle
- des nerfs qui relient ces récepteurs à des centres nerveux du bulbe rachidien, et qui font «remonter» des messages nerveux vers ces centres. Ces nerfs sont appelés des nerfs sensitifs. Ici ce sont les nerfs aortiques et de Hering.
- un centre bulbaire qui traite les informations reçues et fabrique les messages nerveux qui en découlent. Par exemple, si ces centres reçoivent un message correspondant à une augmentation de la pression artérielle, ils vont fabriques des messages nerveux qui vont augmenter l'action modératrice du nerf parasympathique, ce qui va diminuer la pression artérielle (*voir schémas d'interprétation des expériences C et D*).
- des nerfs «moteurs» (ici parasympathique et sympathique) qui vont conduire les messages nerveux fabriqués dans le bulbe vers l'organe effecteur (ici, le coeur), qui va les recevoir et modifier son activité en conséquence.



Schématisation mettant en évidence les éléments intervenants dans les expériences de Hering (R:SC = Récepteur: Sinus Carotidien).

Interprétation de l'expérience C: La surpression dans le sinus est détectée par les récepteurs qui envoient un message nerveux au bulbe. Dans le bulbe, un centre nerveux fabrique des messages nerveux qui atteignent le coeur par le nerf parasympathique et déclenchent une diminution de la fréquence cardiaque, ce qui diminue la pression artérielle.

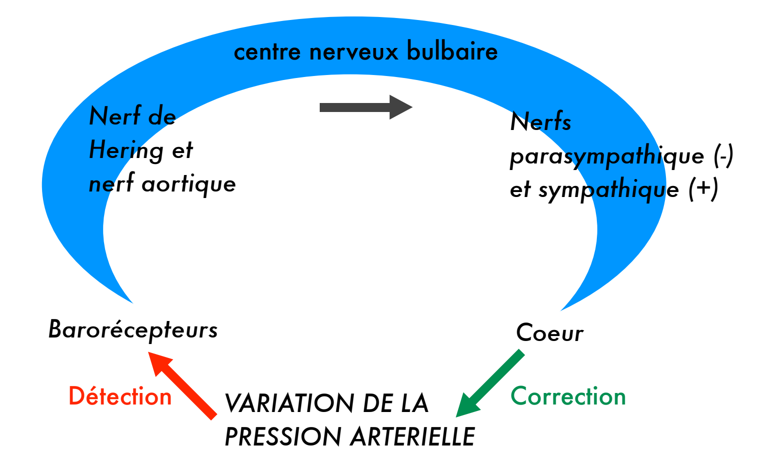


Interprétation de l'expérience D: La baisse de pression dans le sinus est détectée par les récepteurs qui envoient un message nerveux au bulbe. Dans le bulbe, un centre nerveux fabrique des messages nerveux qui atteignent le coeur par le nerf sympathique et déclenchent une augmentation de la fréquence cardiaque, ce qui augmente la pression artérielle (en même temps, le «frein» parasympathique voit son intensité diminuée).

---

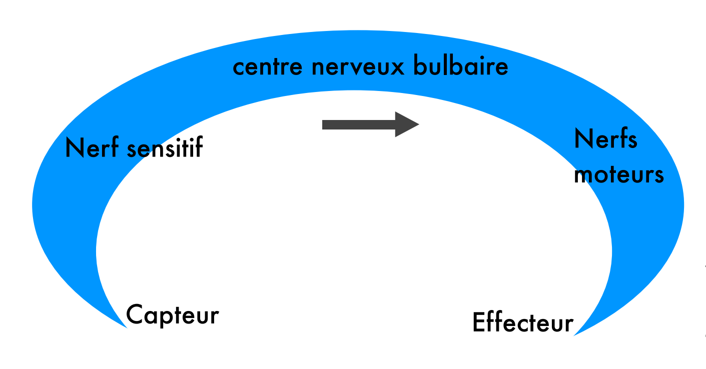
1 - Héring travaillait avec Eberhard Koch, qui était chargé de travailler sur le sinus carotidien des humains, et de voir s'il était impliqué dans des maladies.
2 - De nombreux animaux ont été utilisés à l'époque, dans des conditions sommaires. Claude Bernard, un scientifique qui réalisa d'importantes découvertes sur le rôle du foie, ne craignait pas d'écrire, à l'époque: « Le physiologiste (...) est saisi et absorbé par une idée scientifique qu'il poursuit: il n'entend plus les cris des animaux, il ne voit plus le sang qui coule, il ne voit que son idée, et n'aperçoit que des organismes qui lui cachent des phénomènes qu'il veut découvrir». Tous les scientifiques sont redevables à ces animaux de laboratoire. Aujourd'hui, l'utilisation des animaux en recherche est plus limitée et bien plus respectueuse de leur bien-être, essayant au maximum de leur éviter toute souffrance.
3 - le préfixe «baro» signifie «pression», comme dans «baromètre».

L'ensemble de ce mécanisme automatique, indépendant de notre volonté, constitue un arc réflexe. Ici, cet arc contrôle la fréquence cardiaque, dont dépend la pression artérielle (1).



Ce mécanisme régulateur (*voir ci-dessus, de la détection d'une variation de pression artérielle à sa correction*) participe au maintient de la pression artérielle autour d'une valeur qui ne varie que très peu. Toutefois, au cours d'un effort physique, les réactions et les besoins de l'organisme font que la pression va s'écarter de cette valeur (mais y reviendra une fois l'exercice terminé).

Il existe de nombreux arcs réflexes dans l'organisme, qui constituent des mécanismes efficaces de contrôle de différentes grandeurs et permettent de maintenir de nombreux paramètres à des niveaux constants, ou du moins sujets à de faibles variations.



Tous les arcs réflexes partagent une organisation commune (*voir ci-contre*): des capteurs détectent une variation d'un paramètre (2). Sous l'influence de cette variation, ils fabriquent des messages nerveux qu'ils transmettent, grâce à un nerf sensitif, vers un centre nerveux (souvent situé au niveau du bulbe rachidien, cette partie de l'encéphale réglant tout un ensemble de mécanismes automatiques). Le centre nerveux va fabriquer à son tour des messages nerveux qu'il va adresser, grâce à des nerfs «moteurs» vers un «effecteur», le plus souvent un organe dont l'activité va être modifiée. Lorsque cette modification permet de contrer le sens de la variation détectée au départ par les récepteurs, l'arc réflexe constitue une boucle de régulation.

Ces activités de régulation permettent de maintenir, dans l'organisme, des conditions physiques et chimiques constantes (3). Il est en effet essentiel pour l'organisme que ses cellules soient placées dans un milieu qui leur permettra un fonctionnement harmonieux, et ce fonctionnement n'est assuré que si l'environnement des cellules ne change pas en permanence: grâce à des «boucles de régulation» comme l'arc réflexe contribuant à réguler la pression artérielle, le «milieu intérieur» dans lequel baignent nos cellules est ainsi maintenu dans un état stable leur permettant d'effectuer correctement et durablement les activités qui sont à la base de leur vie, qui n'est autre que notre vie, nous qui sommes des «sociétés de cellules» qui s'assurent ainsi d'un environnement sain, car finement contrôlé.

1 - D'autres mécanismes, agissant sur les vaisseaux sanguins, régulent la pression artérielle. Nous n'étudions ici qu'une partie d'un mécanisme bien plus complexe.
2 - Un paramètre est une grandeur caractéristique de l'organisme, qui peut varier. La teneur du sang en CO_2, par exemple, est un paramètre.
3 - où du moins qui varie très peu.

Pendant le cours
Questions d'élèves

Le perspicace
Quant on nous tape sous le genou et qu'on tend la jambe, c'est aussi un réflexe avec un arc réflexe ?
Tout à fait, bien que ce ne soit pas les mêmes récepteurs et les mêmes centres nerveux qui sont mis en cause.

Le bon élève
Si la pression sanguine est maintenue presque constante, comment ça se fait qu'elle arrive à monter quant on fait du sport.
La pression sanguine est maintenue stable tant que les conditions de l'activité de l'organisme sont elles)même stables. Quant il y a un changement, comme un effort, la modification des besoins des organes entraine des changements dans les mécanismes de contrôle de la pression artérielle, qui va s'adapter à la demande de l'organisme, en particulier grâce à de nouvelles informations apportées aux centres nerveux du bulbe.
Il ne faut pas oublier que le mécanisme que nous avons vu n'est qu'un mécanisme parmi plusieurs assurant la commande de la pression artérielle.

L'héritier
Mon papi il a fait un malaise du vague la dernière fois à la maison. Il est tombé dans les pommes et après il vomissait partout. C'est le même nerf vague, le sympathique qui fait ça ?
C'est en effet le même nerf, qui se distribue dans tout le thorax et l'abdomen, qui est à l'origine de ce malaise en augmentant trop son activité. La perte de connaissance est d'ailleurs liée à une baisse de la pression artérielle qui ne permet plus au cerveau d'être correctement alimenté pendant un moment.

Résumé de l'épisode.

Pour faire un mouvement, un muscle se contracte, tirant sur les os d'une articulation au moyen de tendons. Ce système est sujet à des accidents musculo-articulaires qui en détériorent les différentes parties, mais qui sont facilement évitables. La respiration fournit, le plus souvent, l'énergie nécessaire aux muscles en utilisant nutriments et O2, dont la consommation augmente pendant un effort jusqu'à un maximum. La consommation de nutriments, dépendant aussi de l'effort fourni explique pourquoi l'exercice physique aide à lutter contre l'obésité.
Pendant un effort, la fréquence cardiaque et le volume d'éjection systolique ainsi que la fréquence ventilatoire et le volume courant sont augmentés (les débits cardiaque et ventilatoire augmentent donc) La pression artérielle augmente aussi. Elle est contrôlée de plusieurs façon, dont une boucle réflexe de contrôle de la fréquence cardiaque comprenant des barorécepteurs vasculaires, un centre nerveux bulbaire, des nerfs sympathiques et parasympathiques lui permettant d'influencer un effecteur. Cet arc réflexe contribue à maintenir la pression artérielle dans d'étroites limites, l'organisme s'en écartant toutefois pendant un effort.

Questions

1/ Qu'est-ce qu'un tendon ?
2/ Qu'appelle t'on VO_2 ?
3/ Comment évoluent la fréquence cardiaque et la fréquence respiratoire pendant un effort ?
4/ Qu'est ce qu'un capillaire ?
5/ Pourquoi le sang circule t'il sous pression ?
6/ Qu'est ce que le volume d'éjection systolique ?
7/ Pourquoi la pression artérielle augmente t'elle lorsque la fréquence cardiaque augmente ?
8/ Quelle est le rôle général des nerfs reliés au coeur ?
9/ Qu'est ce qu'un récepteur ?
10/ Qu'est-ce qu'un arc réflexe ?

Colles

1/ Quelles sont les différences entre la respiration et la ventilation ?
2/ Pourquoi la disposition des deux circuits de la circulation, l'un en série et l'autre en branches parallèles, assure t'elle une bonne distribution du dioxygène et une bonne prise en charge du CO_2?
3/ Le volume d'éjection systolique est toujours donné pour le ventricule gauche. Est il le même pour le ventricule droit ? Expliquez votre réponse.
4/ Au moyen d'un tableau, comparez l'organisation générale d'un arc réflexe avec l'organisation précise de l'arc réflexe contrôlant la fréquence cardiaque.
5/ Expliquez pourquoi l'arc réflexe étudié, concernant le rythme cardiaque, est aussi une boucle de régulation.
6/ Résumer en un texte court les réactions de l'organisme à l'effort. Vous utiliserez les termes fréquence, volume d'éjection systolique et VO_2 dans votre description.
7/ Décrivez dans un court texte (une dizaine de phrases) ce qui se passe lorsque les barorécepteurs détectent une baisse de la pression artérielle.
8/ Proposez une hypothèse permettant d'expliquer pourquoi notre pression artérielle et notre fréquence cardiaque peuvent augmenter sans que nous ayons une activité physique particulière, en regardant un film passionnant par exemple.

Exercices

1 - Rufus, le précurseur. (2 pts)

Vers l'an 110, sous le règne de l'empereur romain Trajan, le médecin Rufus, vivant dans la ville d'Éphèse, établit une distinction entre deux types de nerfs: d'un côté les «nerfs du sentiment», de l'autre les «nerfs du mouvement».

En utilisant le vocabulaire moderne, expliquez la distinction ainsi faite par Rufus.

2 - Le postulat D'Avicenne (8 pts)

En 1242, Ibn Nafis s'oppose à une règle appelée le postulat d'Avicenne, d''après le médecin (Averoes) qui l'a énoncée. Ce postulat affirme que le sang du côté droit du coeur sert à nourrir ce muscle.

21 - Quelles sont les particularités du sang présent dans le côté droit du coeur ? (2 pts)

22 - Pourquoi le sang du côté droit du coeur ne constitue pas la solution la plus efficace, au plan logique, pour alimenter ce muscle ? (2 pts)

23 - Recherchez par vous même comment se fait l'alimentation du coeur en nutriments et énergie. Comment s'appellent les vaisseaux sanguins qui l'alimentent, et d'où proviennent-ils ? (2 pts)

24 - Pourquoi le sang qu'il contient et pompe en permanence ne suffit-il pas à alimenter la masse du muscle en dioxygène et nutriments ? (2 pts)

3 - Le bruyant Laennec (7 pts)

En février 1818, le médecin René Théophile Hyacinthe Laennec présente à l'académie de médecine une invention qui deviendra célèbre et permettra facilement de mieux soigner les malades du coeur ou des poumons.

A l'époque de Laennec, les médecins écoutaient parfois le coeur directement en collant l'oreille contre la poitrine des malades. Mais, comme l'écrit Laennec à propos de cette technique d'écoute directe: «*je ne sache pas que personne en ait jamais tiré un certain parti (...) elle peut induire en erreur (...) Aussi incommode pour le médecin que pour le malade, le dégout seul la rend à peu près impraticable dans les hôpitaux; elle est à peine proposable chez la plupart des femmes, et chez quelque unes même, le volume des mamelles est un obstacle physique à ce qu'on puisse l'employer.*»

Laennec expose alors sa découverte: «*Je fus consulté, en 1816, pour une jeune personne (...) je vins à me rappeler un phénomène d'acoustique fort connu: si on applique l'oreille à l'extrémité d'une poutre,, on entend très distinctement un coup d'épingle donné à l'autre bout.(...) Je pris un cahier de papier, j'en formai un rouleau fortement serré dont j'appliquai une extrémité sur la poitrine, et posant l'oreille à l'autre bout, je fus aussi surpris que satisfait d'entendre les battements de coeur d'une manière plus nette et plus distincte que je ne l'avais jamais fait par l'application immédiate de l'oreille*».

31 - Quel instrument, toujours utilisé de nos jours, a inventé Laennec ? (1 pts)

32 - Quels sont les organes situés dans la poitrine qui font du bruit ? Quelle est l'origine de ces bruits ? (4 pts)

33 - Pourquoi l'étude des bruits de ces organes est elle importante pour découvrir une maladie ? (2 pts)

4 - Les surhommes (10 pts)

La $V0_2$ max, exprimée en millilitres d'O_2 par minute et par kilo de poids., est en moyenne comprise entre:
- 45 et 50 pour les hommes
- 35 et 40 pour les femmes

Un entrainement sportif intense et efficace peut amener à améliorer cette valeur d'un tiers.

41 - Pourquoi existe t'il une différence entre les valeurs moyennes de VO_2max chez les hommes et chez les femmes ? Proposez une hypothèse que vous expliquerez. (2 pts)

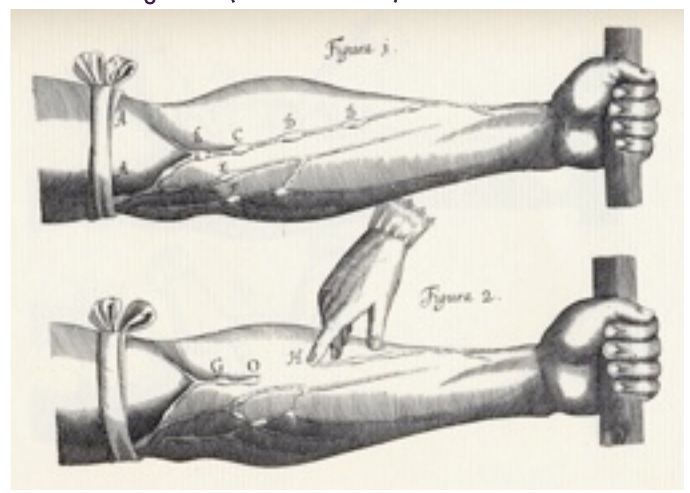
42 - Comment un entrainement peut-il avoir pour effet d'augmenter, dans une certaine mesure, la VO_2max ? (4 pts)

43 - Les meilleurs athlètes ont une VO_2max variant entre 70 et 85 ml/min/Kg. Les cyclistes B. Hinault (5 victoires au tour de France jusqu'en 1985), Greg Lemond (3 victoires au tour de France jusqu'en 1990) et M. Indurain (5 victoires au tour de France jusqu'en 1995) ont eu des VO_2max valant respectivement 96, 92 et 88 mL/min/kg (parmi les coureurs de l'époque actuelle, même les plus grands ne dépassent pas 85).

Quelles hypothèses argumentées pouvez-vous faire permettant d'expliquer les valeurs des VO_2max de ces athlètes ? (4 pts)

5 - Harvey a eu de la veine (4 pts)

Afin de prouver l'existence d'une circulation du sang, Harvey a réalisé plusieurs expériences, en particulier en utilisant des garrots (voir ci-dessous).

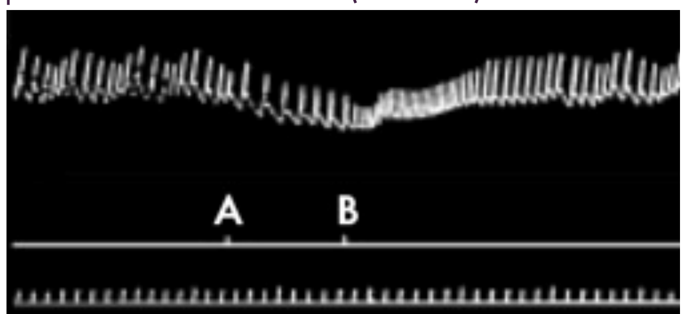


Le garrot permet de mettre en évidence les veines, qui se dilatent, ainsi que leurs valvules (notées par des lettres). Harvey montre que si l'on comprime avec le doigt une de ces valvules, la partie de la veine jusqu'à la prochaine valvule disparait, n'est plus visible. Cette disparition se produit toujours dans un seul sens: en direction du coeur.

Quel raisonnement a produit Harvey pour démontrer que le résultat de cette expérience confirme l'existence de la circulation sanguine ?

6 - Un enregistrement historique (7 pts)

En 1927, Hering, dans un article scientifique, publie un enregistrement (en blanc sur noir, car à cette époque les graphiques étaient obtenus par un stylet qui grattait un cylindre garni de noir de fumée) de la pression artérielle d'un chien pendant une excitation électrique du nerf en provenance du sinus carotidien (côté bulbe).



La ligne du bas, graduée, représente le temps. Les points A et B marquent le début et la fin de l'excitation électrique du nerf du sinus carotidien. La courbe supérieure représente la pression artérielle de l'animal.

61 - Pourquoi la courbe supérieure est-elle constituée d'une suite d'oscillations ? (3 pts)

62 - Qu'observe t'on sur l'enregistrement ? Comment Hering a t'il interprété ce résultat ? (4 pts)

7 - Descartes et les muscles «pneuma»tiques (12 pts)

En 1664, le philosophe, mathématicien et scientifique René Descartes, a qui l'on doit d'avoir pensé toute la logique des sciences modernes, publie dans le livre «traité de l'Homme» ses idées sur le fonctionnement du système nerveux, dérivées de celles du médecin de l'antiquité Galien. Son livre contient l'illustration ci-dessous.



Selon Descartes, les nerfs sont des «tubes nerveux» dans lesquels circule un liquide qui provient du cerveau.

Dans la figure représentée ci-contre, Descartes affirme que la brulure d'un doigt de pied provoque un étirement de la peau, cet étirement se transmettant à un tube nerveux qui, a son tour, transmet cet «étirement» au cerveau. Dans le cerveau, une valve s'ouvrirai alors, le liquide s'écoulerai dans un nerf vers la jambe et ce liquide y ferait gonfler les muscles, leur permettant de se contracter et de s'éloigner du feu.

71 - Les conceptions de Descartes sont rapidement critiquées par ceux qui observent la structure des nerfs. Quelle objection peuvent-ils élever contre Descartes ? (2 pts)

72 - Une expérience simple prouve également que Descartes se trompe: on met la main dans un récipient d'eau et on marque le niveau de l'eau. On contracte alors tous les muscles de la main en refermant le poing: on constate que le niveau de l'eau ne change pas. Pourquoi cette expérience infirme t'elle les hypothèses de Descartes ? (4 pts)

73 - Bien que les idées de Descartes se soient révélées fausses, quels sont les points communs entre ses idées et le fonctionnement d'un arc réflexe ? (6 pts)

8 - Stephan Hales, «grenouillator». (7 pts)

Vers 1730, Stephan Hales, homme d'Église qui est aussi inventeur, chimiste et physiologiste, effectue une série d'expériences sur le système nerveux sur un animal qu'il est facile de se procurer, la grenouille. Hales découvre que des animaux fraichement décapités, si on leur pince l'extrémité du pied, replient alors leur patte. Ce comportement disparaît si il détruit la moelle épinière de l'animal.

81 - Comment interpréter (expliquer au moyen de vos connaissances) le résultat des expériences réalisées par Hales ? (3 pts)

82 - Décrivez le parcours suivi par les messages nerveux chez les grenouilles lors de cette expérience. Comment s'appelle le type de parcours qui vous avez mis en évidence ? (4 pts)

Corrections

Questions

1/ Un tendon est un organe reliant un muscle à un os.
2/ La VO_2 est la quantité (ou plus exactement le débit) d'O_2 consommé par l'organisme en litres/min
3/ Pendant un effort, la fréquence cardiaque et la fréquence respiratoire augmentent.
4/ Un capillaire est un vaisseau sanguin de très faible diamètre et très fin, à travers lequel se font les échanges entre le sang et les cellules des tissus. Les capillaires, dans les organes, sont situés entre les artérioles et les veinules.
5/ Le sang circule sous pression parce que c'est un liquide enfermé dans un système fermé (coeur et vaisseaux) qui exerce une pression sur ce liquide (pression réalisée principalement par le muscle cardiaque, mais aussi par les vaisseaux sanguins eux-mêmes).
6/ Le volume d'éjection systolique est le volume de sang propulsé en dehors du ventricule gauche au cours de chaque contraction (ou systole) de ce ventricule.
7/ La pression artérielle augmente lorsque la fréquence cardiaque augmente car, pendant une même durée, davantage de sang est propulsé dans le circuit sanguin, et ce sang «supplémentaire» exerce une pression supplémentaire sur les vaisseaux.
8/ Les nerfs reliés au coeur ont pour rôle général de permettre une modification de la fréquence cardiaque (que ce soit pour l'augmenter ou la diminuer).
9/ Un récepteur est une région d'un organe capable de fabriquer un message nerveux à la suite d'une stimulation de nature variée (étirement, changement de la composition chimique de l'environnement...). Les récepteurs sont reliés à des nerfs sensitifs.
10/ Un arc réflexe est un mécanisme automatique faisant intervenir des récepteurs transmettant via un nerf sensitif un message nerveux vers un centre nerveux, qui réagit en fabriquant un nouveau message envoyé par un ou des nerfs moteurs vers un organe effecteur qui va réagir à ce message. Dans le cas d'une boucle de régulation, l'effecteur va corriger la variation détectée par le récepteur.

Colles

1/ La respiration est le métabolisme, la suite de transformations chimiques par lesquelles les cellules de l'organisme obtiennent de l'énergie en consommant du dioxygène et en produisant du CO_2 et de l'eau. La ventilation est le mécanisme qui permet de faire entrer et sortir de m'air des poumons. Les deux sont souvent confondus, le terme «respirer» étant abusivement utilisé à la place de «ventiler»

2/ Le circuit de la circulation pulmonaire, placé «en série», assure ainsi l'élimination du CO_2 et la recharge en O_2 de l'ensemble du volume sanguin qui est ensuite envoyé vers les différents organes par le ventricule G. La disposition en parallèle du circuit alimentant ces organes leur permet de recevoir chacun du sang de la même composition, en provenance des poumons via le coeur gauche, et donc enrichit en O_2.

Si les organes étaient alimentés en série, le premier recevrait du sang beaucoup plus riche en O_2 que le dernier du circuit, qui n'aurait plus que l'O_2 non utilisé par tous les autres avant lui et recevrai par contre l'excès de CO_2 qu'ils auraient généré.

Ainsi, la disposition en série de la circulation pulmonaire et en parallèle de la circulation générale assure une distribution à tous les organes d'un sang à teneur constante en O_2 provenant des poumons.

3/ Le volume d'éjection systolique, donné pour le ventricule gauche, est le même pour le ventricule droit. En effet, le système circulatoire est un système fermé: si ce qui sort du coeur d'un côté n'y rentre pas de l'autre, cela veut dire que le sang s'accumule à un endroit, en sortant du système circulatoire par exemple. Dans les conditions normales, les volumes d'éjection systolique gauche et droit sont donc identiques.

4/ Comparaison de l'organisation générale d'un arc réflexe avec l'organisation précise de l'arc réflexe contrôlant la fréquence cardiaque.

organisation générale	arc réflexe contrôlant la fréquence cardiaque.
Récepteur	Barorécepteurs aortiques et du sinus carotidien
Nerf sensitif	Nerf de Hering
Centre nerveux	Bulbe rachidien
Nerfs moteurs	Nerf parasympathique et sympathique
Effecteur	muscle cardiaque

5/ L'arc réflexe concernant le rythme cardiaque est aussi une boucle de régulation car toute variation détectée au niveau des barorécepteurs est contrée par le fonctionnement de l'arc réflexe: si la pression augmente, l'arc réflexe provoque sa diminution en diminuant la fréquence cardiaque, et inversement. La pression artérielle est donc régulée par cet arc, qui constitue donc bien une boucle de régulation.

6/ Pendant un effort physique, la fréquence cardiaque est augmentée, ce qui fait augmenter à son tour le volume d'éjection systolique. L'augmentation conjointe de la fréquence respiratoire permet un apport supplémentaire d'O_2 dans l'organisme, ce qui permet de subvenir aux besoins dus à l'augmentation de sa VO_2.

7/ Les barorécepteurs détectent une baisse de la pression artérielle. Ils fabriquent alors un message nerveux qui remonte le nerf de Hering et arrive dans un centre nerveux bulbaire. Dans le centre, les messages entrants sont analysés et conduisent à la formation de nouveaux messages nerveux qui se dirigent vers le nerf sympathique. Ces messages parcourent ce nerf et arrivent dans le coeur, où ils déclenchent une augmentation de la fréquence cardiaque qui va faire remonter la pression artérielle.

Il y a aussi dans le même temps des messages nerveux bulbaires qui diminuent l'influence permanente et modératrice du nerf parasympathique.

8/ Notre pression artérielle et notre fréquence cardiaque peuvent augmenter sans activité physique particulière, en regardant un film

On peut formuler plusieurs hypothèses, mais il faut qu'elles résistent à la critique. On peut ainsi penser que c'est la position assise, devant l'écran, qui provoque cette augmentation de pression. Mais, dans ce cas, la pression artérielle n'augmenterai pas que devant un film, mais même en classe, lorsque nous sommes assis. De plus, on pourrait montrer que, même debout, nos émotions font augmenter notre tension.

L'hypothèse la plus logique est de considérer que les centres nerveux qui contrôlent la pression artérielle sont situés à la base du cerveau, et sont donc sans doute très probablement reliés à celui-ci. On peut alors supposer qu'il existe des communications nerveuses entre les zones de notre cerveau responsables de nos émotions, devant un film par exemple, et le centre bulbaire contrôlant la pression artérielle. Des messages nerveux en provenance de notre cerveau agiraient alors sur le centre bulbaire de la même façon que ceux l'alertant d'une baisse de la pression artérielle.

Exercices

1 - Rufus, le précurseur. (/2)

Les «nerfs du mouvement» sont ceux qui conduisent les messages vers les muscles, qui sont les acteurs de ces mouvements. Ce sont donc ceux que nous désignons sous le terme de nerfs moteurs.

Les «nerfs du sentiment» sont donc ceux qui servent à «ressentir», ceux qui amènent des messages nerveux vers le cerveau. Ce sont donc ceux que nous appelons à notre époque les nerfs sensitifs.

2 - Le postulat D'Avicenne (/8)

21 - Le sang présent dans le côté droit du coeur provient de tous les organes et part vers les poumons. Il est donc appauvri en O_2 et enrichi en CO_2. (On peut aussi dire qu'il est non hématosé, ce qui revient au même).

22 - Le muscle cardiaque a une activité intense, aussi a t'il logiquement besoin de beaucoup d'énergie, donc de dioxygène. Il ne serait donc pas logique d'alimenter ce muscle avec du sang appauvri en O_2 .

23 - Vous avez du découvrir que l'alimentation du coeur lui-même se fait par un réseau de vaisseaux sanguins qui prend naissance à la base de l'aorte et qui irrigue tout le muscle cardiaque, lui apportant O_2 et nutriments et prenant en charge le CO_2 qu'il produit. Ces vaisseaux sont appelés, à leur départ de l'aorte, les artères coronaires.

24 - Le sang que contient et pompe en permanence le coeur ne suffit-il pas à l'alimenter en dioxygène et en nutriments, car les échanges entre le sang est les organes ne sont possibles qu'à travers la fine paroi des capillaires sanguins. Il faut donc que l'épaisseur du muscle cardiaque soit irriguée par des capillaires, ce qui implique l'existence d'un réseau de vaisseaux sanguins dans les parois du coeur permettant d'alimenter et de drainer ces capillaires.

3 - Le bruyant Laennec (/7)

31 - L'instrument inventé par Laennec est le stéthoscope.

32 - Les organes situés dans la poitrine qui font du bruit sont le coeur ainsi que les poumons. L'origine des bruits est différente : pour le coeur, c'est le bruit causé par le mouvement du sang et la fermeture des différentes valves entre oreillettes, ventricules et artères. Pour les poumons, les bruits sont causés par l'écoulement de l'air à l'intérieur des poumons et des bronches.

33 - Les bruits normaux des poumons et du coeur sont liés à leur fonctionnement «normal». Si ces organes sont endommagés par une maladie, il y a de fortes chances pour que la perturbation qui les affecte ait une influence sur les bruits qu'ils produisent. Comme écouter les bruits du thorax est un examen simple, rapide, peu couteux, indolore et sans danger (à notre époque, mais plus encore à l'époque de Laennec où l'on ne disposait d'aucuns moyen pour «voir» l'intérieur du corps), il peut être réalisé sur tout le monde et donner des signes internes permettant d'identifier une maladie.

4 - Les surhommes (/10)

41 - La différence entre les valeurs moyennes de VO_2max chez les hommes et chez les femmes peut être expliquée par plusieurs hypothèses basées sur les différences moyennes entre homme et femme.

Hypothèse a: La masse musculaire des femmes étant en moyenne moins élevée que celle des hommes, au cours d'un effort physique, ce sont les muscles qui consomment l'essentiel du dioxygène: une plus grande quantité de muscles aboutira à une plus grande valeur de consommation d'O_2, donc de VO_2max chez l'homme.

Hypothèse b: la ventilation est moins performante, en moyenne, chez la femme, en raison d'un volume pulmonaire plus limité lié à sa taille moins importante (en moyenne toujours). Des poumons d'un volume inférieur limiteront l'apport en dioxygène disponible, abaissant ainsi la valeur de VO_2max.

On peut aussi considérer que ces deux phénomènes se conjuguent pour aboutir aux différences décrites.

42 - La VO2max est le «débit» maximal de dioxygène dans l'organisme, en L/min. L'entrainement sportif peut l'améliorer en jouant sur:

- le volume pulmonaire. En «apprenant» à respirer de façon à mieux remplir ses poumons, en développant les muscles respiratoires pour en augmenter un peu le volume, en jouant sur la posture pour dégager au maximum les poumons.
- le rythme de la ventilation, en travaillant l'inspiration/expiration (souvenez-vous, par exemple, de vos profs d'EPS vous disant d'inspirer par le nez et de souffler par le bouche)
- l'efficacité de la circulation sanguine, le développement des muscles, donc du coeur, permettant d'obtenir des contractions plus fortes, donc un volume systolique plus grand et un apport de dioxygène sanguin supplémentaire. (*Les muscles jouent également en comprimant davantage les veines, ce qui facilite le retour du sang vers le coeur, mais cela, vous ne pouviez pas le deviner...*)

43 - Les VO2max des champions cyclistes cités sont étrangement élevés, non ? Il n'y a pas beaucoup d'hypothèses possibles.

S'il s'agissait d'un effet de l'entrainement, on ne voit pas pourquoi les VO2max des champions actuels seraient à présent dans la moyenne, alors que les techniques d'entrainement se perfectionnent d'année en année.

On ne peut donc que faire l'hypothèse que ces champions étaient des surhommes, ou alors que leurs VO2max ne sont pas «d'origine naturelle», que l'apport de dioxygène dans leur organisme a été artificiellement provoqué, par exemple en causant une forte augmentation de la capacité de leur sang à transporter le dioxygène... Il va de soi que ce comportement discutable (et dangereux) porte un nom: le dopage.

Un argument en faveur de cette hypothèse est la décroissance, dans le temps (96 en 1985, 92 en 1990 et 88 «seulement» en 1995), des valeurs «colossales» de ces VO2max au fur et à mesure que les techniques et les contrôles antidopage se multipliaient et se perfectionnaient...

Bien entendu, il ne s'agit ici que d'une hypothèse. Après tout, ils étaient peut être surhumains...

5 - Harvey a eu de la veine (/4)

Le raisonnement de Harvey pour démontrer que le résultat de l'expérience du garrot confirme l'existence de la circulation sanguine se base sur le sens des changements observés.

Si le sang ne se déplaçait pas dans les veines, alors comprimer une veine ne s'accompagnerait pas de son dégonflement, car le sang présent resterai en place, sauf au point d'appui.

Si le sang se déplaçait vers l'extrémité des membres, alors comprimer la veine devrait l'empêcher de passer en direction de la main. Ce n'est pas ce qui est observé.

Si le sang dans les veines se déplaçait en direction du coeur, alors la compression de la veine devrait l'empêcher de passer en direction du coeur, donc dans la direction de l'épaule. C'est bien ce qui est observé, ce qui montre qu'il existe bien un déplacement du sang dans les veines qui se produit en direction du coeur.

Vous pouvez vous demander pourquoi le sang ne disparaît qu'entre les valvules. Cela montre que'n fait il existe tout un réseau veineux qui draine le sang vers le coeur, et que plusieurs veinules se rejoignent au niveau de la valvule O du schéma, ce qui permet de remplir la veine continuant vers le coeur même si le sang du segment HO ne passe plus.

Attention: toutes les expériences utilisant des garrots sont dangereuses et douloureuses, n'essayez donc pas de vous prendre pour W. Harvey !

6 - Un enregistrement historique (/7)

61 - La courbe supérieure de l'enregistrement est constituée d'une suite d'oscillations, car elle correspond à l'enregistrement de la pression artérielle, dont la valeur oscille (change, varie) constamment entre un maximum (au cours des contractions du coeur, ou systoles) et un minimum (pendant la période de «repos» du coeur, ou diastole). L'enregistrement montre donc une suite de minimum et de maximum dont le niveau reste, au début, stable.

62 - Sur l'enregistrement, on observe une diminution du niveau des oscillations pendant la période ou le nerf de Hering a été stimulé électriquement (côté bulbe).

On en déduit que la pression artérielle a diminué lorsque l'extrémité du nerf de Hering reliée au bulbe a été stimulée.

Hering interprète ce résultat en proposant que le nerf a conduit un message nerveux jusqu'à un centre nerveux, ce dernier provoquant ensuite, en agissant sur les messages nerveux conduits par le nerf parasympathique, la diminution de la pression artérielle observée.

En sciences, la distinction entre observation, déduction et interprétation est importante. L'observation semble être l'étape la plus simple, la déduction faisant appel aux connaissances et à la logique. L'interprétation est l'étape cruciale, une de celle qui caractérise la démarche scientifique, où il faut aller plus loin que le phénomène observé et compris pour en proposer une explication nouvelle faisant appel à un ensemble de mécanismes ainsi découverts ou précisés. Bien entendu, l'interprétation demande à être acceptée et confirmée par d'autres expériences et d'autres chercheurs afin d'établir si elle constitue une description correcte et cohérente des phénomènes (en particulier si elle permet d'expliquer d'autres expériences et d'autres observations).

7 - Descartes et les muscles «pneuma»tiques (/12)

71 - Ceux qui observent la structure des nerfs peuvent critiquer les idées de Descartes car ce dernier pense que les nerfs se comportent comme des tubes parcourus par un liquide. Or, l'observation des nerfs montre qu'ils ne sont pas creux, comme des tubes, mais pleins, constitués de fibres (vous le saviez depuis la quatrième... l'auriez-vous oublié ?). Ils ne peuvent donc pas conduire un éventuel liquide du cerveau vers les muscles, où alors pas comme le fait un tuyau...

72 - Cette question demande réflexion. Lorsque l'on contracte un muscle (ou plusieurs, dans l'exemple de la main) sous l'eau, le niveau de l'eau ne change pas. Si vous mettez un ballon dégonflé dans l'eau puis que vous le gonflez, le niveau de l'eau va monter puisque le volume du ballon va augmenter. Souvenons-nous que Descartes pense que les muscles reçoivent du liquide venant du cerveau et se gonflent de ce liquide. On a donc là des muscles «gonflables» avec un liquide, donc des muscles dont le volume devrait augmenter lorsqu'ils se contractent.

Mais le niveau de l'eau ne change pas. Cela signifie donc que le volume du muscle, quand il se contracte, ne change pas non plus. Seule sa forme change. On en déduit que le muscle n'est donc pas «gonflé» par un liquide, et que l'hypothèse de Descartes est fausse.

73 - Les idées de Descartes sont fausses, mais elles présentent toutefois des analogies importantes avec le fonctionnement d'un arc réflexe. En effet, nous retrouvons dans ses descriptions:

- l'idée d'un récepteur, constitué ici par «un étirement de la peau».
- L'existence d'une transmission, d'une communication entre ce récepteur et le cerveau grâce à un nerf («étirement se transmettant à un tube nerveux»).
- La réaction du cerveau lorsqu'il reçoit cette information (l'idée d'une valve qui s'ouvre peut vous paraître très simpliste, mais à l'époque de Descartes, elle constituait un progrès)
- la communication entre cerveau et muscle, l'effecteur de notre arc réflexe, au moyen d'un nerf.

Descartes a donc bien établi le plan général, la logique de l'arc réflexe, mais il ne connaît pas les modalités qui permettent aux organes de communiquer (les connaissances scientifiques de son époque ne lui permettaient pas d'en savoir plus)

Vous pouvez vous demander pourquoi Descartes, qui ici s'est trompé, est considéré comme un grand scientifique. Outre qu'il a effectué par ailleurs d'importantes découvertes, un scientifique n'est pas obligatoirement celui qui «a raison», mais celui qui sait poser les problèmes d'une nouvelle façon qui permettra de renouveler leur étude, même si les solutions qu'il propose à son époque ne se révèlent pas être les bonnes. Il est parfois plus important en sciences de poser les questions d'une façon nouvelle plutôt que d'y répondre dans un cadre ancien.

8 - Stephan Hales, «grenouillator». (/7)

81 Si on pince l'extrémité du pied d'une grenouille fraîchement décapitée, elle replie alors sa patte. Ce comportement disparaît si la moelle épinière de l'animal est détruite.

On observe une contraction des muscles qui assurent le repliement de la patte. Cela fait suite à un pincement, il y a donc communication entre la peau pincée et ces muscles. Le seul centre nerveux disponible (vu qu'il n'y a plus de cerveau, ni de bulbe, ni de tête, d'ailleurs....) est la moelle épinière. Comme la contraction des muscles de la patte disparaît si la moelle st détruite, nous avons confirmation qu'elle joue bien un rôle dans ce processus. Comme le tout ne peut être conscient (sans tête...), Hales a donc observé un comportement réflexe impliquant la moelle épinière comme centre nerveux.

82 - Parcours suivi par les messages nerveux chez les grenouilles lors de l'expérience.

Les messages nerveux sont fabriqués par des récepteurs au niveau de la peau de la patte de la grenouille (on parle de récepteurs cutanés). Ces messages remontent vers la moelle épinière par un nerf sensitif. La moelle épinière est le centre nerveux où les messages reçus sont intégrés et provoquent la formation de nouveaux messages sortant de la moelle par des nerfs moteurs qui vont provoquer la contraction ou le relâchement des muscles de la grenouille nécessaires au mouvement de flexion de la patte.

Le type de parcours ainsi mis en évidence est un arc réflexe.

Manuel libre & gratuit.

Copiez-le !

Téléchargez-le !

Donnez-le !

Remarque sur les programmes

Dans ce manuel, je considère les programmes officiels de la classe de seconde non comme le maximum de ce que doivent savoir les élèves, mais comme le minimum permettant de leur ouvrir l'esprit.

Les programmes sont donc parfois complétés dès que la compréhension globale d'un phénomène l'exige, sans toutefois dépasser le niveau que l'on peut attendre d'un lycéen motivé.

VOUS VENEZ DE TERMINER LE MANUEL DE SECONDE

Un mini Manuel destiné aux élèves suivant l'option de sciences biologique sera disponible à la rentrée de septembre 2011

RR

L'auteur de cet ouvrage

Je suis prof de SVT (nul n'est parfait). Chercheur de formation, je n'ai pas trouvé d'emploi après m'être spécialisé dans la physiologie animale. J'ai enseigné à plusieurs niveaux: séminaires, université, formation d'adultes, lycée et collège.



Ancien élève de math-sup & math-spé bio techno, j'ai également étudié et enseigné la physique. Je m'intéresse à la philosophie des sciences, aux méthodes d'enseignement et à divers problèmes scientifiques liés aux origines de la vie. Je suis également en train de traduire en français des oeuvres inédites de Darwin.

Ayant rédigé une quarantaine d'articles scientifiques ces dernières années, j'ai décidé en 2008, au vu de l'inadaptation des manuels envers les élèves et connaissant la charge financière que représente l'achat de milliers de manuels, de rédiger le premier manuel, en français, libre et gratuit, de SVT troisième.

Au vu du succès de ce dernier, j'ai pris la décision en 2010, à la faveur du changement de programme, d'être «relaps» et de «perseverare diabolicum» en réalisant également le manuel de seconde.

Puisse t'il en inspirer bien d'autres, et de meilleurs !

R. Raynal

Dr de l'université de Toulouse.

Support en ligne

Le site www.exobiologie.info sera votre lien vers les mises à jour du manuel. Vous pourrez également joindre directement l'auteur.

Des incohérences mineures que j'ai relevé ça et là dans le programme de seconde me laissent à penser que ce dernier risque d'être fortement amendé ou révisé à brève échéance. Dans ce cas, votre manuel serai lui aussi révisé et mis à jour dans les plus brefs délais. Encore un avantage d'un manuel numérique!

Évitez d'imprimer



Un document sous forme électronique doit le rester le plus possible: c'est ainsi que vous aurez accès à toute sa richesse, à ses liens, ses vidéos et ses possibilités de navigation. Imprimer est le plus souvent inutile, et représente une dépense (en encre surtout, en papier ensuite) qui n'est pas négligeable. Si vous le pouvez, conservez et utilisez ce manuel sous sa forme électronique.

Iamque opus exegi, quod nec Iovis ira nec ignis nec poterit ferrum nec edax abolere vetustas. Cum volet, illa dies, quae nil nisi corporis huius ius habet, incert spatium mihi finiat aevi: parte tamen meliore mei super alta perennis astra ferar, nomenque erit indelebile nostrum.

Ovide, Métamorphoses, livre XV, 871-876

Remerciements

Institut de recherche

- Le Earth observatory de la NASA, qui fournit un libre accès à de merveilleuses photo satellites
- l'université de Berkeley (Museum de Paléontologie) qui m'a autorisé à reproduire certaines illustrations et dont le remarquable site "comprendre l'évolution" est en cours de traduction.

Institutions

- Wikipedia et ses contributeurs qui mettent à disposition d'excellents documents sous licence wikimedia commons.
- Le congrès des USA pour le Federal Research Public Access Act exigeant de toute agence fédérale l'accès permanent, libre et gratuit pour tous aux publications scientifiques.
- Le National Institute of Health.
- L'Oregon State University et son site:



Mention spéciale pour les concepteurs des licences creative commons et GNU qui ont permis de trouver (et de créer) facilement des documents pour cet ouvrage.

USGS NOAA

Chercheurs

Le Dr Rosset, concepteur d'osirix



Tout le monde peut lire ce manuel ! (enfin presque !)



